



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EN**  
**EDIFICACIÓN**

**PROYECTO FIN DE GRADO**

Estudio de viga aligerada de hormigón  
reforzado con fibra polimérica

Joaquín Jara Soriano

Francisco Javier Royo Sánchez

Directores:

José Ramón Albiol Ibañez

Luis Vicente García Ballester

**Julio, 2013**



## **Agradecimientos**

Queremos dar las gracias a nuestros tutores de proyecto José Ramón Albiol Ibañez y Luís García Ballester, por su orientación, por sus consejos y por todos los conocimientos que nos han aportado para formarnos profesionalmente.

Tenemos que reconocer y agradecer la ayuda de los técnicos de laboratorio Rafa y Jesús por la asistencia en todo momento y toda la dedicación que nos han prestado.

Gracias a nuestros compañeros de proyecto que nos han ayudado y con los que hemos compartido buenos momentos.

Y por supuesto agradecer a todas las personas cercanas a nosotros, familiares y amigos que han estado apoyándonos no solo en este proyecto sino en toda la carrera.



## INDICE GENERAL

1. OBJETIVOS.....	1
1.1 Objetivos generales .....	3
1.2 Objetivos específicos .....	3
2. ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1. Introducción .....	7
2.2. Reseña histórica del hormigón autocompactante con fibras .....	8
2.3. Definición del HAC con fibras .....	8
2.4. Materiales constituyentes del HAC con fibras:.....	9
2.4.1. Árido grueso:.....	9
2.4.2. Árido fino: .....	10
2.4.3. Aditivos superfluidificantes:.....	11
2.4.4. Aditivos moduladores de viscosidad: .....	12
2.4.5. Adiciones:.....	12
2.4.6. Agua: .....	16
2.4.7. Cemento:.....	17
2.4.8. Fibras: .....	17
2.5. Tipificación del HAC reforzado con fibras .....	22
2.5.1. Tipificación del hormigón tradicional.....	22
2.5.2. Tipificación del hormigón con fibras .....	23
2.5.3. Tipificación del hormigón autocompactante.....	24
2.5.4. Tipificación del hormigón autocompactante reforzado con fibras .....	26
2.6. Dosificación del HAC reforzado con fibras .....	27
2.6.1. Dosificación del árido .....	27
2.6.2. Dosificación del filler .....	27
2.6.3. Dosificación del agua.....	28
2.6.4. Dosificación del cemento.....	28
2.6.5. Dosificación aditivo superfluidificante .....	29
2.6.6. Dosificación del aditivo viscosante .....	29
2.6.7. Dosificación de fibras.....	30
2.7. Prescripciones del HAC reforzado con fibras.....	30

2.7.1. Amasado y transporte.....	30
2.7.2. Vertido .....	31
2.7.3. Juntas frías .....	33
2.7.4. Curado.....	34
2.7.5. Acabado.....	34
2.7.6. Principales defectos.....	35
2.8. Características en estado fresco del HAC reforzado con fibras.....	36
2.8.1. Elevada fluidez .....	36
2.8.2. Resistencia a la segregación .....	37
2.8.3. Tiempo abierto y tiempo de uso.....	39
2.8.4. Robustez.....	40
2.8.5. Resistencia al bloqueo.....	40
2.8.6. Reología.....	41
2.8.7. Parámetros de docilidad según EHE 08 .....	44
2.9. Características mecánicas del HAC reforzado con fibras.....	46
2.9.1. Resistencia a flexotracción.....	46
2.9.2. Resistencia a compresión .....	48
2.9.3. Fluencia.....	49
2.9.4. Fatiga .....	50
2.9.5. Resistencia al impacto .....	51
2.9.6. Módulo de deformación.....	51
2.10. Durabilidad del HAC reforzado con fibras.....	52
2.10.1. Problemas habituales en la durabilidad .....	52
2.10.2. Densidad, compacidad y permeabilidad .....	53
2.10.3. Mejoras en la durabilidad de hormigones autocompactantes y con fibras ...	54
2.11. Reacción ante el fuego del hormigón autocompactante reforzado con fibras.....	54
2.11.1. El hormigón autocompactante y el efecto spalling .....	55
2.11.2. Efecto ante el fuego de la adición de fibras al hormigón.....	57
2.12. Comportamiento del HAC reforzado con fibras frente a las retracciones .....	58
2.12.1. Definición de retracción.....	58
2.12.2. Los dos tipos fundamentales de retracción. ....	59
2.12.3. Algunos factores influyentes en la retracción .....	59
2.12.4. Comportamiento del HAC reforzado con fibras en la retracción.....	60
2.13. Ventajas e inconvenientes del HAC reforzado con fibras .....	61

2.13.1. Mejoras en la puesta en obra .....	61
2.13.2. Mejoras de capacidades mecánicas y durabilidad .....	61
2.13.3. Mejoras de economía .....	62
2.13.4. Inconvenientes .....	63
2.14. Aplicaciones, estado actual y ejemplos .....	64
2.14.1. Algunas aplicaciones realizadas: .....	65
2.15. Comportamiento a cortante en vigas de HAC reforzado con fibras .....	68
2.15.1. Comportamiento general frente a cortante .....	68
2.15.2. Comportamiento del HAC sin fibras frente a cortante .....	71
2.15.3. Comportamiento del HAC reforzado con fibras frente a cortante .....	71
2.16. Orientación de fibras en el hormigón .....	72
2.16.1. Flujo de vertido .....	72
2.16.2. Método de compactación .....	73
2.16.3. Efecto pared .....	73
2.17. Adherencia fibras-matriz .....	77
2.17.1. Comportamiento de adherencia de fibras-matriz .....	77
2.17.2. Estudios realizados en la universidad Politécnica de Valencia .....	78
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL .....	81
3.1 Plan experimental .....	83
3.2 Dosificación inicial hormigón autocompactante con fibras .....	85
3.3. Viga aligerada .....	87
3.3 Armado de vigas aligeradas .....	88
Planos Armado .....	89
3.4. Ensayos .....	90
3.4.1 Ensayos hormigón estado fresco .....	90
-Ensayo de escurrimiento o SlumpFlow: .....	90
-Ensayo de escurrimiento con anillo Japonés .....	90
-Ensayo del embudo en V .....	91
-Ensayo contenido aire ocluido .....	91
3.5. Desmoldado de probetas y vigas .....	92
3.6. Curado de probetas y vigas .....	92

3.7. Ensayos hormigón endurecido .....	93
-Ensayo deformación .....	93
-Ensayo de compresión .....	93
-Ensayo de flexión.....	94
-Ensayo vigas aligeradas .....	95
4. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	97
4.1. Introducción .....	99
4.2. Materiales empleados para la realización del HAC con fibras en el trabajo.....	99
-Cemento.....	99
-Áridos .....	100
-Filler.....	101
-Agua .....	101
-Aditivo Superplastificante .....	102
-Aditivo adherente .....	102
- Fibras poliméricas .....	103
- Armadura .....	103
4.3. Equipos y herramientas empleados para la realización del HAC con fibras .....	106
-Tamices .....	106
-Estufa.....	106
-Báscula precisión .....	106
-Báscula .....	107
-Herramientas ensayo escurrimiento .....	107
-Bandeja plana .....	107
-Molde tronco de cono.....	108
-Metro o regla graduada .....	108
-Cronometro .....	108
-Herramientas ensayo Embudo en V.....	109
-Recipiente de llenado .....	109
-Herramientas ensayo Anillo japonés .....	109
-Anillo Japones:.....	109
-Molde tronco de cono.....	110



-Metro o regla graduada.....	110
-Hormigonera 20litros.....	110
-Hormigonera 60 litros.....	111
-Moldes.....	111
-Molde para probetas prismáticas.....	111
-Pulidora de probetas.....	112
-Llana.....	112
-Máquina ensayo a compresión.....	113
-Máquina ensayo a flexión.....	113
-Encofrados de vigas aligeradas.....	114
4.4. Estudio granulométrico.....	116
4.5. Determinación de la humedad en los áridos.....	119
4.6. Plano situación aligeraciones, recubrimientos y diagonales.....	120
4.7. Montaje del armado.....	122
4.8. Montaje del encofrado y hormigonado.....	124
4.9. Identificación de vigas.....	126
4.10. Identificación amasadas promotor de adherencia.....	127
4.11. Dosificación hormigón.....	128
4.12. Fabricación hormigón.....	129
4.13. Vertido y compactación del hormigón.....	131
4.14. Curado del hormigón fresco.....	131
4.15. Desmoldado de probetas y desencofrado.....	132
4.16. Curado de probetas y vigas.....	132
4.17. Ensayos estado fresco.....	133
-Ensayo de escurrimiento o SlumpFlow:.....	133
-Ensayo de escurrimiento con anillo Japonés.....	135
-Ensayo del embudo en V.....	136
-Ensayo contenido aire ocluido.....	136
4.18. Ensayos en estado endurecido.....	137
- Ensayo a flexión probetas.....	137
-Ensayo de deformación.....	138
-Ensayo a compresión.....	139
-Ensayo vigas aligeradas.....	140

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	145
5.1. Introducción .....	147
5.2. Ensayo de acero .....	147
5.3. Ensayos estado fresco hormigón.....	151
5.4 Ensayos estado endurecido .....	164
5.4.1 Introducción .....	164
5.4.2 Resultados ensayo compresión.....	165
5.4.3 Resultados ensayo flexión.....	168
5.4.3 Resultados ensayo deformación probetas cilíndricas .....	169
5.5 Análisis de resultados vigas aligeradas .....	172
5.5.1 Viga tipo 1 (patrón) armado completo sin fibras.....	173
5.5.2. Viga tipo 2 con armado completo y 6,2kg de fibras.....	179
5.5.3. Viga 3 con armado completo y 9 kg de fibras .....	183
5.5.4. Viga 4 armado completo con 12,4kg de fibras.....	188
5.5.5. Viga 5 con semiarmado y 9 kg de fibras .....	194
5.5.6. Viga 6 sin armado y sin fibras.....	199
5.5.7. Viga 7 sin armado y con 24 kg de fibras .....	202
5.5.8. Comparativa de las vigas .....	207
5.5.9. Comparativa de vigas sin armado.....	209
5.6 Análisis de resultados promotor de adherencia.....	210
5.6.1 Fibras 6,2 kg Sin adherente.....	211
5.6.2 Fibras 6,2 Kg 1% Líquido.....	212
5.6.3 Fibras 6,2 Kg 2% Líquido.....	213
5.6.4 6,2 Kg Fibras 1% Sólido .....	214
5.6.5 6,2 Kg Fibras 2% Sólido .....	215
5.6.6 6,2 Kg Fibras análisis todas.....	216
5.6.7. 9 Kg Fibras Sin adherente.....	219
5.6.8. 9 Kg Fibras 1% Líquido.....	220
5.6.9. 9 Kg Fibras 2 % Líquido .....	221
5.6.10 9 Kg Fibras 1% Sólido .....	222
5.6.11 9 Kg Fibras 2% Sólido .....	223
5.6.12 9 kg Fibras análisis todas.....	224

5.6.13 12,4 Kg Fibras Sin adherente.....	227
5.6.14 12,4 Kg Fibras 1% Líquido.....	228
5.6.15 12,4 Kg Fibras 2% Líquido.....	229
5.6.16 12,4 Kg Fibras 1% Sólido.....	230
5.6.17 12,4 Kg Fibras 2% Sólido.....	231
5.6.18 12,4 Kg Fibras análisis todas.....	232
5.7 Resúmenes vigas aligeradas.....	235
5.8 Resúmenes promotor de adherencia.....	243
6. CONCLUSIONES.....	247
6.1 Fase de vigas.....	249
6.2 Fase de promotor de adherencia.....	250
7. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN.....	251
Futuras líneas de investigación.....	253
8. BIBLIOGRAFÍA.....	255
Bibliografía.....	257
9. ANEXOS.....	259
anexo 1. estudio granulométrico áridos.....	261
anexo 2. fichas técnicas materiales.....	267
anexo 3. gráficas resultados ensayo a compresión.....	277
Fibras 6,2 kg Sin adherente.....	278
Fibras 6,2 kg con 1% adherente líquido.....	278
Fibras 6,2 kg con 2% adherente líquido.....	278
Fibras 6,2 kg con 1% adherente sólido.....	279
Fibras 6,2 kg con 2% adherente sólido.....	279
Comparativa fibras 6,2 kg.....	279
Fibras 9 kg con sin adherente.....	280
Fibras 9 kg con con 1% adherente líquido.....	280
Fibras 9 kg con con 2% adherente líquido.....	280

<i>Fibras 9 kg con con 1% adherente sólido</i> .....	281
<i>Fibras 9 kg con con 2% adherente sólido</i> .....	281
<i>Comparativa fibras 9 kg</i> .....	281
<i>Fibras 12.4 kg con sin adherente</i> .....	282
<i>Fibras 12.4 kg con 1% adherente líquido</i> .....	282
<i>Fibras 12.4 kg con 2% adherente líquido</i> .....	282
<i>Fibras 12.4 kg con 1% adherente sólido</i> .....	283
<i>Fibras 12.4 kg con 2% adherente sólido</i> .....	283
<i>Comparativa fibras 12,4kg</i> .....	283
<i>anexo 4. presupuesto</i> .....	284

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2. 1 Efecto del tamaño del árido en la distribución de las fibras dentro de un cuadrado de lado igual a la longitud de éstas (F. Cánovas, ACHE, 2000).....	10
Ilustración 2. 2 Formas de las fibras de acero: a) sección circular, b) sección rectangular, c) dentada, d) ondulada, e) extremos conformados, f) de rascado en caliente, g) extremos ensanchados. (F. Cánovas, ACHE, 2000) .....	19
Ilustración 2. 3 Forma de trabajo de macro y micro fibras .....	21
Ilustración 2. 4 Sentido de vertido inclinado. ....	32
Ilustración 2. 5 Ejemplo de formación de junta fría por enfrentamiento de frentes de hormigonado.....	33
Ilustración 2. 6 Simulación de bloqueo .....	40
Ilustración 2. 7 Parámetros reológicos según el modelo Bingham.....	41
Ilustración 2. 8 influencia en el HAC del contenido de agua, finos y aditivo .....	42
Ilustración 2. 9 comparación reológica entre los diferentes hormigones .....	43
Ilustración 2. 10 Diagrama curva carga-deflexión del ensayo de resistencia a la flexión (norma ACI 544.2R).....	47
Ilustración 2. 11 Curva carga/deformación comparativa.....	48
Ilustración 2. 12 Proceso del spalling .....	56
Ilustración 2. 13 Tipos de rotura .....	69
Ilustración 2. 14 Orientación teórica de la fibra alrededor del vibrador .....	73
Ilustración 2. 15 Relación carga-deslizamiento en fibras lisas (F. Cánovas, ACHE, 2000).....	78
Ilustración 3. 1 Esquema ensayo viga aligerada.....	87
Ilustración 3. 2 Ensayo anillo Japonés.....	90
Ilustración 3. 3 Esquema embudo V.....	91
Ilustración 3. 4 Esquema anillos deformación .....	93
Ilustración 3. 5 Esquema Flexión.....	94
Ilustración 3. 6 Esquema ensayo a flexión viga aligerada .....	95
Ilustración 4. 1 Esquema embudo V.....	109
Ilustración 4. 2 Esquema Anillo Japonés .....	109
Ilustración 4. 3 Esquema ensayo Anillo Japonés.....	135
Ilustración 4. 4 Esquema ensayo a flexión probetas prismáticas .....	137
Ilustración 4. 5 Esquema anillos deformación .....	139
Ilustración 4. 6 Esquema ensayo vigas aligeradas mediante dos cargas y dos apoyos .....	140

## ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 2. 1 Humo de sílice .....	14
Imagen 2. 2 ceniza volante.....	14
Imagen 2. 3 Escorias siderúrgicas.....	15
Imagen 2. 4 Fibras metálicas .....	20
Imagen 2. 5 Fibras poliméricas.....	20
Imagen 2. 6 Vertido en una planta de prefabricado .....	33
Imagen 2. 7 Vertido de HAC .....	37
Imagen 2. 8 Torta de HAC homogenea .....	38
Imagen 2. 9 Torta con segregación .....	39
Imagen 2. 10 Roturas de probetas a compresión .....	49
Imagen 2. 11 Fibra fundida y difundida en el hormigón.....	58
Imagen 2. 12 Pavimento tablero en puentes Vía falencia (Barcelona).....	65
Imagen 2. 13 Bóveda del Oceanografic.....	67
Imagen 2. 14 Hormigonado de la contraboveda. ....	68
Imagen 2. 15 Trayectorias de la tensión principal de compresión en una viga no fisurada .....	69
Imagen 2. 16 Distribución de fibras en un hormigón convencional .....	75
Imagen 2. 17 Distribución de fibras en un hormigón autocompactante .....	76
Imagen 2. 18 Orientación concéntrica de las fibras.....	76
Imagen 3. 1 Viga aligerada .....	87
Imagen 3. 2 Armado Tipo Viga .....	87
Imagen 3. 3 Barra arm. inferior.....	88
Imagen 3. 4 Armado Cercos .....	88
Imagen 3. 5 Armado diagonal .....	88
Imagen 3. 6 Ensayo escurrimiento .....	90
Imagen 3. 7 Ensayo Anillo Japonés .....	90
Imagen 3. 8 Ensayo Embudo V.....	91
Imagen 3. 9 Encofrado y probetas cilíndricas y prismáticas .....	91
Imagen 3. 10 Ensayo contenido Aire ocluido .....	91
Imagen 3. 11 Probeta Desmoldada (izquierda) Viga desencofrada (derecha) .....	92
Imagen 3. 12 Cámara de Curado.....	92
Imagen 3. 13 Ensayo Deformación.....	93
Imagen 3. 14 Ensayo Compresión probeta cilíndrica (izquierda) probeta prismática (derecha) .....	94
Imagen 3. 15 Ensayo flexión probeta prismática .....	94
Imagen 3. 16 Ensayo a flexión viga aligerada.....	95

Imagen 4. 1 Cemento .....	99
Imagen 4. 2 Zona de acopio en laboratorio .....	100
Imagen 4. 3 Preparación Áridos .....	100
Imagen 4. 4 Desecación árido .....	101
Imagen 4. 6 Cubo de agua .....	101
Imagen 4. 5 Filler calizo .....	101
Imagen 4. 7 Aditivo Superplastificante liquido .....	102
Imagen 4. 8 Aditivo adherente Sólido .....	102
Imagen 4. 9 Fibra Polimérica T 60 .....	103
Imagen 4. 12 Báscula de precisión .....	106
Imagen 4. 10 Serie de tamices .....	106
Imagen 4. 11 Estufa .....	106
Imagen 4. 14 Bandeja plana .....	107
Imagen 4. 13 Báscula .....	107
Imagen 4. 15 Molde tronco de cono .....	108
Imagen 4. 16 Cronómetro .....	108
Imagen 4. 17 Embudo V .....	109
Imagen 4. 18 Anillo Japonés .....	109
Imagen 4. 19 Molde tronco cono .....	110
Imagen 4. 20 Metro .....	110
Imagen 4. 21 Hormigonera 20 litros .....	110
Imagen 4. 22 Hormigonera 60 L .....	111
Imagen 4. 23 Molde cilíndrico .....	111
Imagen 4. 24 Molde prismático .....	111
Imagen 4. 25 Pulidora probetas .....	112
Imagen 4. 26 Llana .....	112
Imagen 4. 27 Maq. Compresión .....	113
Imagen 4. 28 maquina ensayo a flexión .....	113
Imagen 4. 29 Encofrado contrachapado .....	114
Imagen 4. 30 Situación tubos PVC .....	114
Imagen 4. 31 Solución tubos PVC .....	115
Imagen 4. 32 Estufa desecación .....	116
Imagen 4. 33 Cuarteador árido fino .....	116
Imagen 4. 34 Lavado - eliminación de finos .....	117
Imagen 4. 35 Serie de tamices, tamizado, árido descompuesto .....	117

Imagen 4. 36 Tara de Sartén y espátula .....	119
Imagen 4. 37 Deseccación árido .....	119
Imagen 4. 38 Doblado de armado.....	122
Imagen 4. 39 Doblado de cercos.....	122
Imagen 4. 40 Diagonal en plantilla.....	122
Imagen 4. 41 Armado cercos.....	123
Imagen 4. 42 Armado completo.....	123
Imagen 4. 43 Preparación molde y colocación del armado .....	124
Imagen 4. 44 Fijación de tubos .....	124
Imagen 4. 45 Cubrición de tubos .....	125
Imagen 4. 46 Vertido de hormigón .....	125
Imagen 4. 47 Eliminación de coqueras.....	125
Imagen 4. 48 Enrasado con paleta .....	125
Imagen 4. 49 Etiquetado vigas .....	126
Imagen 4. 50 Mezclado de áridos y finos.....	129
Imagen 4. 51 Disolución promotor adherente solido y vertido de agua con superplastificante .....	129
Imagen 4. 52 (Izda. a Dcha. Ensayo anillo Japonés, escurrimiento, embudo V).....	130
Imagen 4. 53 Vertido de fibras.....	130
Imagen 4. 54 Ensayo escurrimiento fibras y hormigonado molde .....	130
Imagen 4. 55 Curado de viga y probetas.....	131
Imagen 4. 56 Desmoldado de probetas y desencofrado de viga .....	132
Imagen 4. 57 Cámara de curado y paneles sensores de temperatura.....	132
Imagen 4. 58 Ensayo escurrimiento .....	133
Imagen 4. 59 Medición diámetro torta.....	133
Imagen 4. 60 Diámetro ensayo anillo Japonés.....	135
Imagen 4. 61 Altura interior anillo japonés.....	135
Imagen 4. 62 Vertido embudo V .....	136
Imagen 4. 63 Manómetro .....	136
Imagen 4. 64 Captador de flecha .....	137
Imagen 4. 65 Entalladura p. prismática.....	137
Imagen 4. 66 Ensayo Flexión .....	138
Imagen 4. 67 Colocación anillos.....	138
Imagen 4. 68 Ensayo de deformación.....	139
Imagen 4. 69 Refrentado de probeta y medición de diámetro .....	139



Imagen 4. 70 Ensayo Compresión probeta cilíndrica y prismática .....	140
Imagen 4. 71 Grafiado de líneas de compresión y tracción, y colocación de captadores .....	141
Imagen 4. 72 Colocación en maquina de ensayo.....	141
Imagen 4. 74 Colocación transmisores cargas puntuales .....	142
Imagen 4. 73 Colocación de DEMEC .....	142
Imagen 4. 75 Medición inicial DEMEC y colocación captador de tracción .....	142
Imagen 4. 76 Ensayo a flexión viga aligerada.....	143

### *ÍNDICE DE TABLAS*

Tabla 2. 1 Granulometría del filler según UNE EN 12620 .....	11
Tabla 2. 2 Propiedades de los hormigones con la incorporación de distintos tipos de fibras ....	18
Tabla 2. 3 Clases de escurrimiento.....	24
Tabla 2. 4 Clases de viscosidad.....	25
Tabla 2. 5 Clase de resistencia al bloqueo .....	25
Tabla 2. 6 Clases de escurrimiento.....	44
Tabla 2. 7 Clases de viscosidad.....	45
Tabla 2. 8 Clases de resistencia al bloqueo .....	45
Tabla 2. 9 Requisitos generales de autocompactabilidad.....	46
Tabla 2. 10 Dosificación de la gunita del Oceanografic.....	66
Tabla 2. 11 Tabla de cálculo de orientación de fibras según el efecto pared .....	74
Tabla 3. 1 Dosif. Inicial.....	85
Tabla 3. 2 Dosificación Vigas aligeradas.....	85
Tabla 3. 3 Dosificación Promotor de adherencia sólido.....	86
Tabla 3. 4 Dosif. Promotor adherencia liquido .....	86
Tabla 4. 1 Estudio granulométrico áridos .....	118
Tabla 4. 2 Tipología vigas .....	126
Tabla 4. 3 Ejemplo dosificación .....	128
Tabla 4. 4 Rangos admisibles EHE-08.....	133
Tabla 4. 5 Clases de escurrimiento.....	134
Tabla 4. 6 Clases de viscosidad.....	134



## **1. Objetivos**



## 1.1 Objetivos generales

El objetivo del presente trabajo es el de estudiar como afecta la incorporación de fibras en el hormigón autocompactante y como este puede mejorar sus propiedades al añadir un aditivo adherente de fibras poliméricas.

## 1.2 Objetivos específicos

Hemos realizado estudios de caracterización de la matriz cementicia con la incorporación de fibras y como se pueden mejorar las características mecánicas al utilizar en la dosificación un aditivo adherente.

Como objetivos principales podemos definir:

\*El estudio de cómo influye la incorporación de fibras en elementos de hormigón autocompactante armado, intentando simular una situación real en obra o en central de hormigonado.

Para ello hemos escogido como elemento una viga aligerada de hormigón con distintas cantidades de fibra y de armado para realizar diferentes tipos de situaciones y obtener una caracterización lo más fiable posible.

\*El estudio de dos promotores de adherencia de fibras poliméricas totalmente novedosos que no se encuentran en el mercado y que todavía están en fase de experimentación. Este aditivo se probará en hormigón autocompactante con fibras.

Los aditivos son de dos tipos, uno líquido y otro sólido en polvo y para verificar sus propiedades realizaremos distintas amasadas con diversas cantidades de fibras entre 6,2kg, 9kg y 12,4kg por metro cúbico, con cantidades de entre 1 y 2% de aditivo adherente. A estas amasadas se le realizarán los diferentes ensayos tanto en estado fresco como en estado sólido.

Este proyecto se ha organizado en los siguientes puntos:

- En el punto 2 se definirán las características del hormigón autocompactante con fibras, sus capacidades mecánicas en estado endurecido, características reológicas en estado fresco, los distintos componentes que lo forman y una reseña histórica del material.
- En el punto 3 se especificarán el programa y las líneas de investigación que seguirá el proyecto explicando como se van a desarrollar los diferentes ensayos.

- En el punto 4 se describen cómo hemos realizado las distintas amasadas, elementos auxiliares como encofrados y los ensayos en estado fresco y endurecido.
- En el punto 5 analizaremos los resultados que hemos obtenido en todo el proceso de investigación realizando las comparativas oportunas con los hormigones y vigas patrones a modo evaluación experimental.
- En el punto 6 realizaremos las conclusiones obtenidas de este estudio y el balance final de todos los procesos experimentales.
- En el punto 7 especificamos las futuras líneas de investigación que se pueden seguir en años venideros para continuar y ampliar este proyecto.

## 2. ESTADO DEL ARTE





## **2.1. Introducción**

Desde los primeros inicios del hormigón hace ya más de dos mil años en la época romana se ha convertido en un material fundamental en el sector de la construcción. Desde los primeros pasos de los romanos ha cambiado mucho la situación y características del material. La aparición del hormigón moderno se remonta al siglo XIX y se lo debemos a Joseph aspdin pero la verdadera evolución a pasos agigantados del hormigón se ha producido en las últimas décadas con la aparición de nuevos aditivos y adiciones.

El uso de aditivos para mejorar las calidades d pese a que en estas últimas décadas hayan revolucion: romanos se usaban productos naturales como sangre de animales que por aquel entonces se desconocía la razón de sus beneficios pero que hoy la ciencia si puede explicar. Los aditivos superplastificantes de nueva generación logran reducir la cantidad de agua manteniendo o aumentando la trabajabilidad lo cual es una auténtica revolución dado que se pueden lograr dosificaciones optimizadas al máximo con resistencias que jamás se hubiesen alcanzado sin estos productos. Estos aditivos han dejado una puerta abierta a una nueva generación de hormigones.

Los aditivos han conseguido reducir no solo la cantidad de agua sino también la cantidad de cemento sin mermar sus características reológicas, resistencia o durabilidad. Los hormigones de altas prestaciones permiten disminuir secciones ahorrando material por lo que es un hormigón más económico y ecológico, sin contar que al mejorarse la puesta en obra sin el vibrado se reduce notablemente el ruido y las molestias. Dado que la porosidad y la compacidad mejora serán hormigones mucho más durables ante el ambiente externo.

Otra de las novedades de la ciencia a día de hoy que se ha extrapolado al estudio del hormigón es el uso de microscopios electrónicos, con los cuales podemos entender el funcionamiento a tamaño microscópico de la estructura del hormigón. Entendiendo mejor como se forman los SC3 y AC3 se tiene una mayor comprensión de la forma de trabajar del hormigón a tamaño macromolecular.

Los hormigones del mañana serán mas avanzados, tendrán menos cantidad de klinker y serán hormigones más ecológicos con aditivos y adiciones de mejor calidad y mezclas mucho más cuidadas y mejor diseñadas. La química cada vez tendrá mayor protagonismo en este campo. Estos hormigones económicamente no se pueden medir el precio por m3 sino hay que tener en cuenta la relación del precio con la resistencia y los ciclos de vida y durabilidad del mismo, teniendo en cuenta esa relación el hormigón de altas prestaciones es más económico y más verde.

## **2.2. Reseña histórica del hormigón autocompactante con fibras**

La utilización de fibras como refuerzo de la matriz en materiales frágiles en realidad no es nada nuevo, sino que se lleva aplicando desde hace mucho tiempo. Se tienen reseñas históricas de el uso de la paja para reforzar ladrillos de adobe por ejemplo, el uso de pelos de algunos animales como caballos o cabras también era usual. Pero el primer dato del hormigón reforzado con fibras lo tenemos en 1911 cuando Graham utilizó por primera vez fibras metálicas para reforzar la matriz. Esta ciencia comenzó a estudiarse en los años 20 pero terminó por asentarse a finales de los 60. En los años setenta ya se empezaron a utilizar en la fabricación de pavimentos en tableros de puentes o para los revestimientos de los túneles, pero todo en obra civil. Unos de los precursores del estudio de la incorporación de fibras en los años 60 antes de que pasase a la ingeniería civil fue el cuerpo de ingenieros del ejército americano, que estudiaba este material para la construcción de Bunkers.

Paralelamente en la década de los 60 en la industria de la construcción de Japón buscaban formas de optimizar los hormigones actuales. Varias empresas constructoras le encargaron esta investigación al profesor Hajima Okamura del Department of Civil Engineering University of Tokio . Más de dos décadas después consiguió desarrollar lo que conocemos hoy como aditivos plastificantes y en 1986 realizó lo que se considera el primer hormigón autocompactante compuesto a base escorias siderúrgicas, cenizas volantes y aditivo plastificante. En las últimas décadas se produjo el gran avance de este tipo de material avanzando con la aparición de los aditivos de tercera generación con un gran poder reductor y pudiendo optimizar sus dosificaciones.

La fusión del hormigón autocompactante y hormigón con fibras es algo totalmente novedoso que todavía está en desarrollo. La multitud de tipos de fibras y la gran versatilidad en este campo originan que todavía quede mucho por investigar y estudiar.

## **2.3. Definición del HAC con fibras**

La nueva instrucción de hormigón estructural del 2008 ya ha tenido en cuenta a los hormigones autocompactantes dedicándoles un anejo (anejo 17 recomendaciones para la utilización de hormigón autocompactante). De esta forma se reconoce la implantación de esta tipología de material en el mercado actual.

La EHE define al hormigón autocompactante como:

*"A los efectos de este Anejo, se define como hormigón autocompactante aquel hormigón que, como consecuencia de una dosificación estudiada y del empleo de aditivos superplastificantes específicos, se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación, no presentando segregación, bloqueo de árido grueso, sangrado, ni exudación de la lechada."*

El hormigón autocompactante en siglas HAC se basa en una cuidada dosificación con gran contenido en árido fino y un porcentaje del peso del cemento en aditivo superfluidificante que le da la capacidad de fluir pudiendo mantener su relación de agua/cemento. Este material tiene una docilidad tal que no es necesario compactarlo mediante vibradores o herramientas externas ya que por las características del mismo por su propio peso puede compactarse por si solo llenando el volumen a ocupar en todo su espacio sin bloquearse.

La EHE del 2008 no podía olvidarse del hormigón con fibras por lo que también ha reservado un anejo para este material (anejo 14 Recomendaciones para la utilización del hormigón con fibras). Según la EHE define este hormigón como:

*"A los efectos de este Anejo, los hormigones reforzados con fibras (HRF), se definen como aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa. El planteamiento es general para todo tipo de fibras, si bien hay que tener presente que la base fundamental del conocimiento de que se dispone es para fibras de acero, lo que se refleja, en cierta medida en el mismo."*

El hormigón reforzado con fibras cuyas siglas son HRF se traduce en una matriz de hormigón con diferentes dosificaciones a la que se le añadieron en el amasado fibras de diferentes materiales para mejorar ciertas características y propiedades del mismo. Estas fibras pueden o no intervenir estructuralmente en el cálculo por su aportación en las mejoras mecánicas y la resistencia al fuego o al impacto pueden incrementarse notablemente con el uso de estas adiciones.

## **2.4. Materiales constituyentes del HAC con fibras:**

### **2.4.1. Árido grueso:**

El tamaño máximo del árido se limita a 25 mm... para hormigones autocompactantes según la EHE 2008 pero esto varía según la disposición de armaduras y el tipo de fibras que se quieran utilizar. Es recomendable de todas formas que el tamaño máximo este en torno entre 12 y 20 mm.

En un hormigón con fibras cuanto mayor sea la relación del tamaño máximo más riesgos corremos de perder trabajabilidad de la mezcla y de poder causar bloqueos en el vertido. Por ello que la EHE 08 recomienda que las fibras en longitud superen al árido de tamaño máximo mayor de forma que la longitud de la fibra sea 2,5 o 3 veces el diámetro del tamaño máximo del árido.

Si coartamos la movilidad de las fibras con el árido se producirán agrupamientos de las mismas en la mezcla tal y como indican las imágenes.



Ilustración 2. 1 Efecto del tamaño del árido en la distribución de las fibras dentro de un cuadrado de lado igual a la longitud de éstas (F. Cánovas, ACHE, 2000)

Se recomienda que el tamaño máximo del árido grueso no supere el menor de los límites siguientes:

- $2/3$  de la longitud de la fibra.
- $1/5$  del lado menor del elemento.
- $3/4$  de la distancia libre entre las barras de armado.
- 25mm para hormigones autocompactantes.

#### 2.4.2. Árido fino:

El HAC reforzado con fibras debe tener gran cantidad de finos y de áridos de una granulometría baja para así mejorar la docilidad y su puesta en obra. Esto también implica que una mayor cantidad de áridos de baja granulometría más superficie específica y más cantidad de pasta necesitaremos.

Para estabilizar la granulometría y las diferencias de tamaño de árido se suelen utilizar finos con un tamaño menor de 0,125mm y que normalmente son de origen calizo para de esta forma mejorar la docilidad. Cuanto menos discontinua sea la granulometría mejor funcionará la puesta en obra y compactabilidad del hormigón. La cantidad del filler calizo suele situarse en un 23% de la masa del hormigón pero esto varía notablemente según el tipo de dosificación.

De acuerdo con la Norma UNE EN 12620 la granulometría de un filler se define en la tabla siguiente:

Tamiz de tamaño (mm)	Porcentaje que pasa en masa
2	100
0'125	85 a 100
0'063	70 a 100

**Tabla 2. 1 Granulometría del filler según UNE EN 12620**

### 2.4.3. Aditivos superfluidificantes:

Se entiende por aditivos aquellas sustancias o productos que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento (Art. 29 EHE 2008)

Los tipos y efectos de aditivos son muy numerosos pero hablando del HAC es fundamental el uso de un aditivo superfluidificante para modificar la trabajabilidad sin variar la relación agua/cemento ya que el aumento de agua origina un descenso en la resistencia del mismo. Estos tipos de aditivos de última generación suelen estar basados en un policarboxilo que rompe la tensión superficial del agua haciendo que el agua de amasado en mínima cantidad pueda optimizarse en un 20 o 30% pudiendo llegar hasta un 40%.

En ocasiones, puede ser conveniente el uso de un aditivo modulador de la viscosidad que minimiza los efectos de la variación del contenido de humedad, modificando la cohesión de la mezcla de hormigón para evitar segregación y la exudación de agua. Su uso no es indispensable en la fabricación de HAC si se dispone de la cantidad de finos suficiente.

Los aditivos deben de cumplir la norma UNE EN 934-2.

- Aditivos de primera generación, Lignosulfonatos: Constituyen los aditivos más simples en cuanto a tecnología. Es un subproducto de la industria del papel de la obtención de la celulosa. Reducen la cantidad de agua en un 10%.
- Aditivos de segunda generación, Naftaleno sulfonatos y melamina sulfonatos: Los naftaleno sulfonatos se obtienen de la industria del refinado del carbón mientras que la melamina sulfonato es un polímero sintético. Estos aditivos logran una reducción de aproximadamente un 25%.

- Aditivos de tercera generación, Policarboxilatos: Químicamente se basan en copolímeros de ácido acrílico y ésteres de estos ácidos y pueden mejorar otras cualidades como la resistencias iniciales o el fraguado. Logran una reducción de hasta un 40%.

#### **2.4.4. Aditivos moduladores de viscosidad:**

También denominados cohesionantes o estabilizadores, tienen la función de mejorar la estabilidad del hormigón reduciendo la segregación y la exudación.

Minimizan los posibles efectos producidos por las variaciones de humedad o agua en la dosificación logrando un hormigón más estable.

Este tipo de aditivos son muy importantes cuando tenemos una insuficiencia de finos en la dosificación ya que esto aumentaría la exudación.

En muchas ocasiones se incorporan en el mismo aditivo junto con el superplastificante y se comercializan dentro del mismo envase.

Pueden considerarse tres tipos:

- Clase A: Son polímeros orgánicos sintéticos o naturales de alto peso molecular como pueden ser éteres de celulosa, almidones pregelatinizados, polímeros vinílicos, etc. Son solubles en agua y forman geles que aumentan la viscosidad.
- Clase B: Son floculantes orgánicos solubles en agua como copolímeros de estireno o resinas naturales que se que crean atracción entre las partículas del cemento aumentando así la viscosidad.
- Clase C: Son emulsiones de diferentes materiales orgánicos como emulsiones acrílicas o dispersiones acuosas de arcilla que aumentan la atracción entre partículas y suministran partículas muy finas adicionales.

Los aditivos deben de cumplir la norma UNE EN 934-2.

#### **2.4.5. Adiciones:**

No es necesario el uso de adiciones para conformar un buen HAC reforzado con fibras pero si que es algo muy conveniente sobre todo si deseamos incrementar sus resistencias.

Para el uso de las adiciones puzolánicas deben de usarse con un cemento CEM I.

Hay muchas más adiciones pero aquí hemos tratado algunas de las principales.

Se entiende por adiciones aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente divididos, pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar alguna de sus propiedades o conferirle características especiales (EHE art 30).

Aunque según la definición de la EHE 08 solo se contemplan adiciones actividad resistente puzolánicas hay más tipos de adiciones con otros efectos.

Las adiciones pueden actuar aumentando la capacidad de retener agua de la mezcla debido a su elevada superficie específica o también pueden aumentar la tixotropía de la mezcla y entre las adiciones que causan este efecto destacan las cenizas volantes.

Además de ayudar a conseguir la cohesión necesaria, las adiciones permiten reducir el contenido de cemento en la pasta, evitando los problemas relacionados con el exceso de calor de hidratación y retracción.

Las adiciones más empleadas generalmente son:

**Humo de sílice:**

El humo de sílice o también llamado microsílíce es un subproducto industrial de forma esférica que se origina en las cadenas de producción que trabajan en la reducción del cuarzo de elevada pureza en hornos.

Según la EHE 08 su nivel de aportación máxima no puede sobrepasar el 10% del peso del cemento.

El papel del humo de sílice en los hormigones es doble: uno físico al actuar como plastificante como consecuencia de su finura, y otro químico al reaccionar con el hidróxido cálcico procedente de los compuestos activos del cemento dando lugar a silicatos cálcicos hidratados de composición parecida a los procedentes de la hidratación del cemento y produciendo un aumento de resistencias mecánicas.

El microsílíce puede ser empleado en cualquier tipo de aplicación y a pesar de que ofrece buenos resultados, tiene alguna limitación. En primer lugar su cantidad está limitada por motivos de resistencia a flexión, motivos económicos y por su elevada demanda de agua. Otro de los problemas del humo de sílice es que puede dar diferentes cambios de coloración en el hormigón.

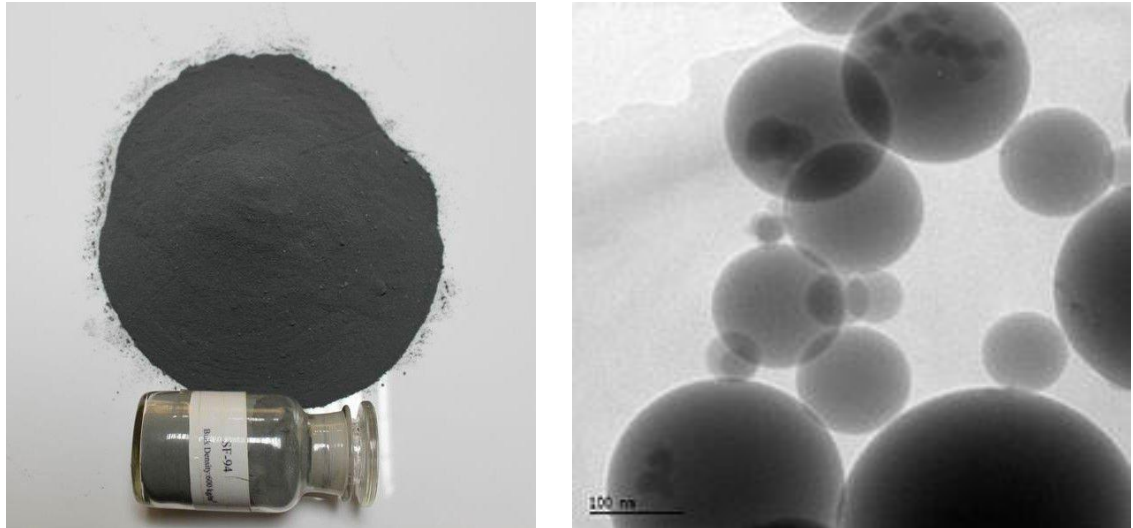


Imagen 2. 1 Humo de sílice

### Cenizas volantes:

Es el residuo industrial que se produce por la combustión del carbón en centrales termoeléctricas de forma que se precipita o se filtra del humo de la combustión. Es un material puzolánico y mejora las resistencias.

Según la EHE 08 su nivel de aportación máxima no puede sobrepasar el 35% del peso del cemento.

Las cenizas ofrecen grandes resultados en aplicaciones donde no se demande elevada resistencia inicial o se requiera elevado mantenimiento de la consistencia. Reducen el calor de hidratación de la masa de hormigón.

Las cenizas deben de seleccionarse correctamente ya que si poseen elevado contenido de residuo no quemado pueden provocar manchas negras en la superficie del hormigón ya que éstos, por diferencia de densidades y apoyado por la fluidez del hormigón, emergen con facilidad a la superficie.

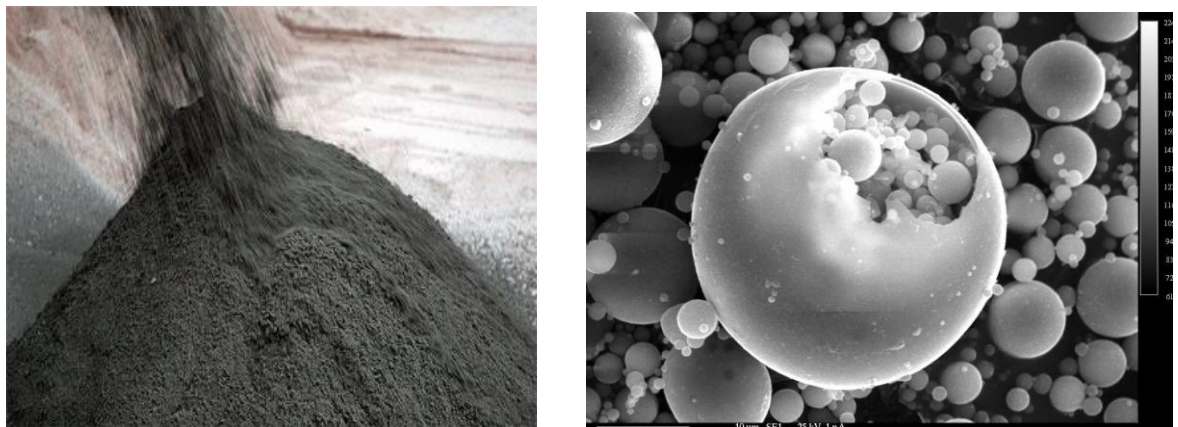


Imagen 2. 2 ceniza volante



**Escorias siderúrgicas:**

Residuo producido en la fabricación de arrabio en los altos hornos, tiene características puzolánicas. Realmente es una adición muy escasa. También, al igual que las cenizas volantes, son activas y disminuyen el calor de hidratación. Mejoran la retracción hidráulica, por lo que se utilizan en grandes volúmenes de hormigón. En cambio, aumentan la retracción autógena que aparece en relaciones a/c menores de 0,5, por lo que esta adición se debe utilizar en relaciones a/c mayores. Igualmente, alcanzan resistencias finales altas, aunque las iniciales son más bajas. Mejoran el comportamiento del hormigón en agua de mar y contra los sulfatos.

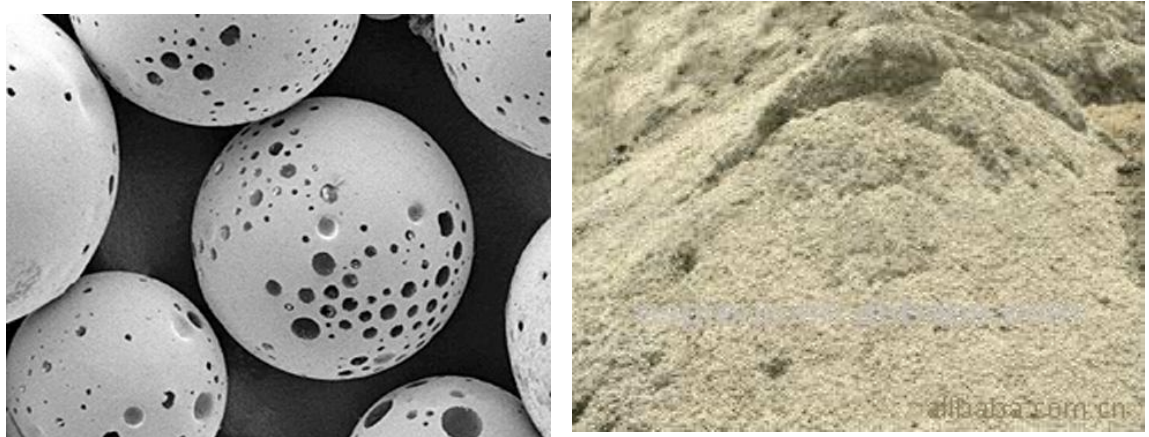


Imagen 2. 3 Escorias siderúrgicas

**Filler:**

Generalmente provienen de rocas calizas aunque también puede obtenerse de dolomías o granito. En realidad es árido triturado muy fino de forma que su granulometría pasa por el tamiz de 0,125mm.



Los fillers que provienen de dolomías pueden tener problemas de durabilidad con la alcalinidad del cemento.

Proporciona la cohesividad necesaria para obtener las características imprescindibles en un hormigón, al igual que disminuye la retracción química, y aumenta la durabilidad con respecto a un hormigón convencional con la misma relación a/c e igual contenido de cemento.

También es la adición mas económica ya que en muchas ocasiones es un subproducto de la minería de una alta obtención y que no tiene una gran demanda como para elevar su precio.

#### 2.4.6. Agua:

La cantidad de agua en este tipo de hormigones es más baja ya que realmente solo es necesaria el agua suficiente para hidratar el cemento y poco más, por que nos es necesario aportar mayor cantidad de agua para aumentar la trabajabilidad.

En un hormigón corriente sin aditivo superfluidificante aproximadamente solo el 25% del agua es la necesaria para hidratar el cemento y el resto es simplemente para dar trabajabilidad.

Dependiendo de la dosificación y de la cantidad de agua que es reemplazada por el superfluidificante será necesaria más o menos litros por metro cúbico de hormigón.

Según la EHE 2008 el agua no debe de tener sustancias que puedan dañar el hormigón:

- exponente de hidrógeno pH (UNE 7234)  $\geq 5$
- sustancias disueltas (UNE 7130)  $\leq 15$  gramos por litro (15.000 p.p.m)
- sulfatos, expresados en  $SO_4^{2-}$  (UNE 7131),excepto para el cemento SR en que se eleva este límite a 5 gramos por litro (5.000 p.p.m)  $\leq 1$  gramo por litro (1.000 p.p.m)
- ión cloruro,  $Cl^-$  (UNE 7178):
  - a) para hormigón pretensado  $\leq 1$  gramo por litro (1.000 p.p.m)
  - b) para hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración  $\leq 3$  gramos por litro (3.000 p.p.m)
- hidratos de carbono (UNE 7132) 0
- sustancias orgánicas solubles en éter (UNE 7235)  $\leq 15$  gramos por litro (15.000 p.p.m) realizándose la toma de muestras según la UNE 7236 y los análisis por los métodos de las normas indicadas.

Se puede utilizar agua salada siempre que no haya armaduras por la existencia de cloruros, pero no es recomendable por la posible aparición de eflorescencias y otras patologías. En general el agua potable es adecuada para el amasado ya que cumple las características antes mencionadas.

### 2.4.7. Cemento:

En hormigones HAC el cemento juega un papel fundamental, no solo por la propia función de sus características para formar la matriz por su endurecimiento, sino también por la cantidad de finos (partículas que pasan por el tamiz de 0,125 mm) que aporta a la mezcla y la trabajabilidad que puede aportar (o reducir) dependiendo del tipo de cemento, tiempo de fraguado, etc.

Las cantidades de cemento son mayores que en hormigones convencionales por lo que lo recomendable es un mínimo de 300 o 350 kg por metro cúbico y está prohibido superar 500 kg de metro cúbico por que en ese caso se emite gran calor de hidratación. El cemento ha utilizar puede tener adiciones incluidas o sin ellas (CEM I) pero en cualquier caso la cantidad de cemento debe cumplir los mínimos de la EHE 08.

No existen en principio requisitos específicos en cuanto al tipo de cemento a utilizar en el HAC reforzado con fibras que sean distintos a los exigibles para un hormigón convencional. La selección del tipo de cemento depende de los requisitos globales del hormigón, como durabilidad, resistencia, etc. Tanto el cemento tipo I como el tipo II son perfectamente utilizables, incluso cementos compuestos.

Se recomiendan los cementos tipo I 42.5 y 52.5 (y su variante R) para prefabricado y aplicaciones donde se demande elevada resistencia inicial y cementos tipo II para hormigón preparado con mayor demanda de mantenimiento de la consistencia, siendo los criterios de elección en cuanto a su tipo similares a los empleados para un hormigón convencional (bajo calor de hidratación, resistente a los sulfatos, etc.).

### 2.4.8. Fibras:

Las fibras son añadidas durante el amasado del hormigón para conferir distintos tipos de características y propiedades según el tipo de fibras, material de las mismas, forma, cantidad, longitud, etc.

Las fibras empleadas en el refuerzo de matrices de hormigón, pueden ser fibras discontinuas, rígidas o flexibles, que presentan una distribución discreta y uniforme dentro de la matriz que confiere al material isotropía y homogeneidad. La efectividad de la acción reforzante y la eficacia de la transmisión de tensiones por parte de las fibras dependen de muchos factores pero, especialmente, de la naturaleza, tipo y características geométricas de fibras empleadas.

La elección de unas fibras u otras depende del tipo de aplicación que se vaya a realizar y así, las fibras de acero al carbono se emplearán en hormigones en los que se deba mejorar la resistencia a tracción, flexión, fatiga e impacto y controlar la fisuración, las de acero inoxidable en la mejora de estas mismas propiedades en

hormigones refractarios; las fibras de vidrio se emplearan en morteros y pastas en capas delgadas para mejorar la resistencia a tracción, flexión e impacto, las fibras plásticas se utilizarán en hormigones resistentes a choques o impactos, etc.

Tipos de fibras	Resistencia a tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (KN/mm <sup>2</sup> )	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Alargamiento de rotura (%)
Acero	500 - 3.000	210	7.800	3,5
Acero Inox.	2.100	160	7.860	3,0
Vidrio	2.000	60	2.700	3,6
Carbón	3.000	200 – 500	1.900	0,5
Asbestos	3.000	200	2.600	2,0 – 3,0
Nilón	900	4	1.100	13,0 – 15,0
Polipropileno	400 – 800	2 – 25	900	8,0 – 20,0
Poliéster	700 – 900	8,2	1.400	11,0 – 13,0
Kevlar 49	2.900	133	1.500	2,6
Kevlar 29	2.900	69	1.500	4,0
Sisal	400 – 800	30	1.200	3,0
Hormigón	5 - 8	30	2.300	-

Tabla 2. 2 Propiedades de los hormigones con la incorporación de distintos tipos de fibras

Atendiendo a su forma las fibras pueden ser rectas o conformadas:

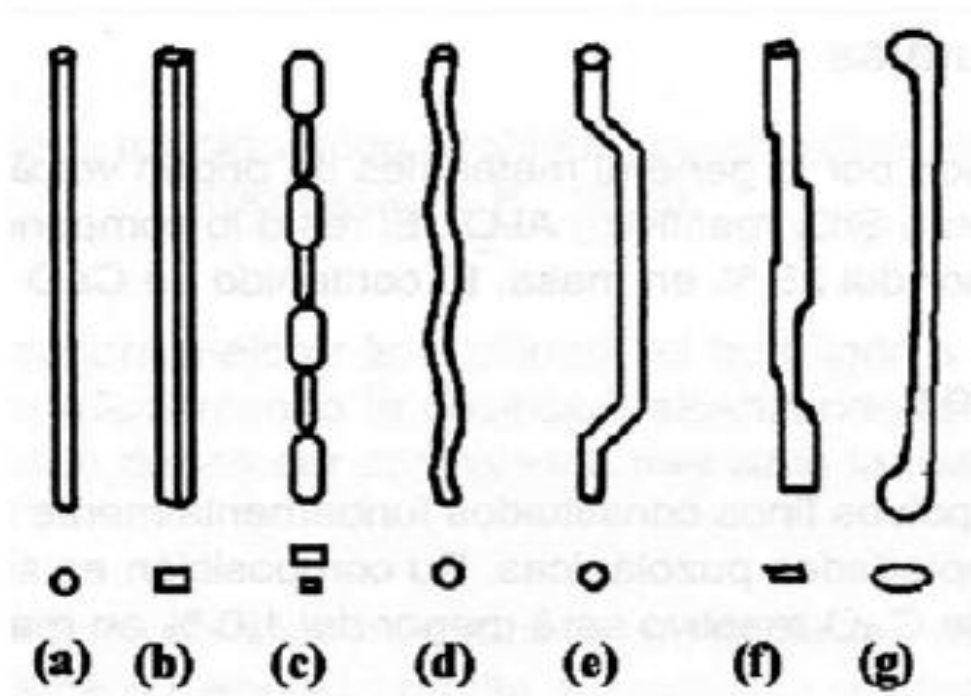


Ilustración 2. 2 Formas de las fibras de acero: a) sección circular, b) sección rectangular, c) dentada, d) ondulada, e) extremos conformados, f) de rascado en caliente, g) extremos ensanchados. (F. Cánovas, ACHE, 2000)

Los tipos de fibras usados corrientemente en el mercado son:

### Metálicas

Las fibras de acero deben ser conformes con la norma UNE 83500-1 y generalmente son usadas por conferir al hormigón mayores y mejores capacidades mecánicas. Su obtención depende del tipo de producción de las mismas que pueden ser por corte en lámina, rascado, trefilado, etc. Y esto por supuesto esto va a influir en su forma, rectas, onduladas ya que a fin de mejorar la adherencia de las fibras con el hormigón éstas pueden tener extremos conformados, ondulaciones, corrugas, aplastamientos, ganchos, etc.

Según la EHE especifica en su anejo 14 que las fibras metálicas deben tener una longitud dos veces el tamaño del árido mayor y si la puesta en obra va a ser por bombeo el tamaño debe ser inferior a  $2/3$  del diámetro del tubo. Es usual utilizar una longitud de 2,5 o 3 veces el tamaño máximo del árido.

A igualdad de longitud y peso por metro cúbico es preferible el diámetro de fibra más pequeño ya que a menor diámetro más número de fibras por misma cantidad de peso y su distribución en el hormigón será mejor creando una matriz más

homogénea y que mecánicamente trabaja mejor por una redistribución de esfuerzos más repartida.

Estas fibras pueden tener misión estructural o no, pero para que puedan intervenir en el cálculo de esfuerzos deben de haber más de 20 kg por metro cúbico.

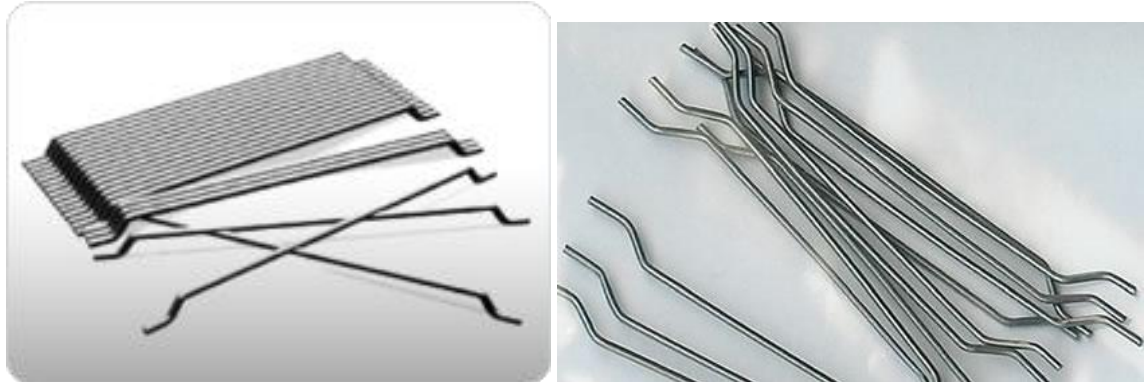


Imagen 2. 4 Fibras metálicas

### Poliméricas

Están formadas por materiales poliméricos como puede ser el polipropileno, polietileno, poliéster, aramida, etc. Son productos provenientes de los hidrocarburos por lo que molecularmente predominan el hidrógeno y carbono.

Hay que destacar que este tipo de fibras frente a las metálicas son más económicas y químicamente inertes.

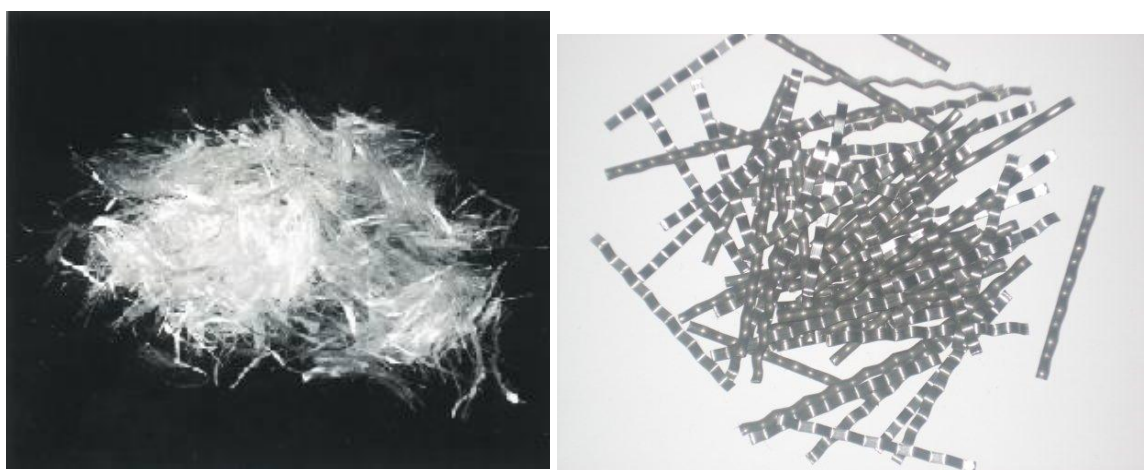


Imagen 2. 5 Fibras poliméricas

Según sus dimensiones pueden ser:

- Micro-fibras:  $< 0,30\text{mm}$  diámetro
- Macro-fibras:  $\geq 0,30\text{mm}$  diámetro

Las micro-fibras se utilizan principalmente como refuerzo ante las retracciones en el hormigón y también para mejorar el comportamiento al fuego siendo conveniente para ello una gran cantidad de fibras por metro cúbico. Debido al pequeño diámetro de estas fibras quedan muy homogéneamente repartidas en la mezcla y en la matriz pero no tienen ninguna función estructural.

Las macro-fibras si que pueden colaborar estructuralmente y sus longitudes son variables desde 20 hasta 60mm. Las macro-fibras trabajan cuando aparecen las macro-fisuras y según la forma y longitud de las fibras trabajarán mejor o peor. Sin embargo, las micro-fibras, para ser efectivas, deberían tener un relación de aspecto relativamente alto y así controlar el posterior crecimiento de las micro-fisuras.

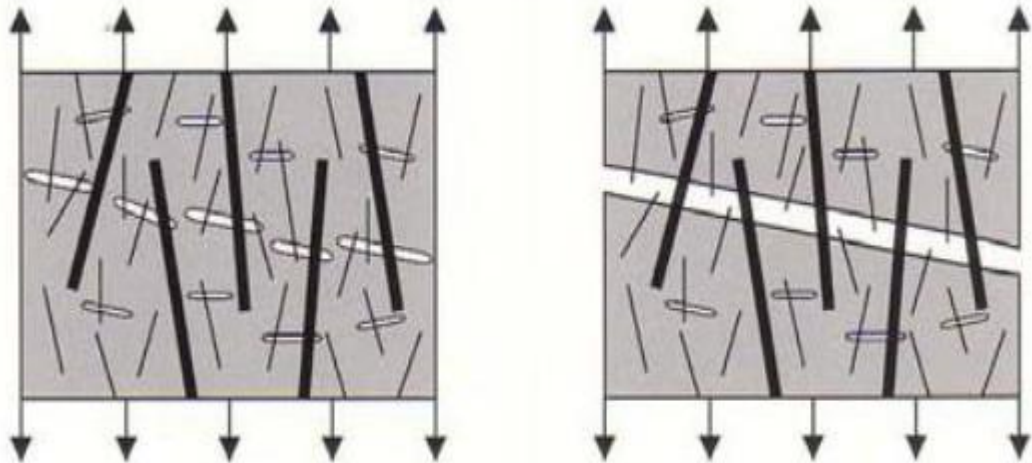


Ilustración 2.3 Forma de trabajo de macro y micro fibras

### Otras fibras inorgánicas

Según la EHE 08 en su anejo 14 define las fibras de vidrio como otras fibras inorgánicas, se suele usar para elementos prefabricados y paneles para revestimientos pero asegurándose de que no exista una incompatibilidad de la alcalinidad del hormigón con este tipo de fibras. Por lo que si la fibra no es resistente a los álcalis puede haber graves problemas de durabilidad. Dentro del tipo de fibras inorgánicas hay otros tipos que están comercializados pero salvo la fibra de vidrio los demás no son muy usados en construcción.



## **2.5. Tipificación del HAC reforzado con fibras**

### **2.5.1. Tipificación del hormigón tradicional**

Según la EHE 08 art 39.2 en la tipificación de un hormigón convencional hay una serie mínima de datos que se deben de dar en el pliego de condiciones como son:

T - R / C / TM / A

*T* Indicativo que será HM en el caso de hormigón en masa, HA en el caso de hormigón armado y HP en el de pretensado.

*R* Resistencia característica especificada, en N/mm<sup>2</sup>.

*C* Letra inicial del tipo de consistencia.

*TM* Tamaño máximo del árido en milímetros.

*A* Designación del ambiente.

En el caso de hormigones con fibras además de la tipificación básica de un hormigón convencional aportada anteriormente debemos de dar los siguientes datos (EHE 08 art 14):

- Dosificación de fibras en kg/m<sup>3</sup>

- Tipo, dimensiones (longitud, diámetro efectivo, esbeltez), forma y resistencia a tracción de la fibra (en N/mm<sup>2</sup>), en el caso de fibras con finalidad estructural.



Sin embargo la efectividad de las distintas fibras disponibles en el mercado puede ser muy variable, y las condiciones de disponibilidad del producto o las condiciones de la obra pueden recomendar una modificación de alguna de las características especificadas en el pliego ya sea de tipo, de dimensiones y, por ende, de la dosificación necesaria de fibras para obtener las mismas propiedades. Por ello, cuando la designación del hormigón sea por propiedades, la dosificación indicada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares debe entenderse como orientativa.

### 2.5.2. Tipificación del hormigón con fibras

Según la EHE 08 art 14 el hormigón con fibras se define:

$T - R / f-R1-R3 / C / TM-TF / A$

*T* Indicativo que será HMF en el caso de hormigón en masa, HAF en el caso de hormigón armado y HPF en el caso de hormigón pretensado

*R* Resistencia característica a compresión especificada, en N/mm<sub>2</sub>

*f* Indicativo del tipo de fibras que será A en el caso de fibras de acero, P en el caso de fibras poliméricas y V en el caso de fibra de Vidrio

*R1,R3* Resistencia característica residual a flexotracción especificada  $f_{R,1,k}$  y  $f_{R,3,k}$ , en N/mm<sub>2</sub>

*C* Letra inicial del tipo de consistencia.

*TM* Tamaño máximo del árido en milímetros.

*TF* Longitud máxima de la fibra, en mm

*A* Designación del ambiente.

Cuando las fibras no tengan función estructural los Indicativos R1 y R3 deberán sustituirse por: “CR” en el caso fibras para control de retracción, “RF” en el caso de fibras para mejorar la resistencia al fuego y “O” en otros casos.

En el caso de hormigones designados por dosificación se recomienda el siguiente formato:

$T - D - G/f/C/TM/A$  donde G es el contenido de fibra, en kg/m<sup>3</sup> de hormigón, prescrito por el peticionario.

Por ejemplo para una tipificación de un hormigón con fibras sería:

**HAF-30/P-CR/B/20-30/IIa**

Sería un hormigón armado con refuerzo de fibras poliméricas, con resistencia característica de 30 Mpa, las fibras han sido incorporadas al hormigón para controlar la retracción, su consistencia es blanda, el tamaño máximo del árido es 20mm y el de la fibra 30mm y ambiente IIa.

### 2.5.3. Tipificación del hormigón autocompactante

La tipificación de un hormigón autocompactante es igual que la de un hormigón convencional con la diferencia de que cambiamos la sigla del tipo de consistencia por las siglas AC de autocompactante. Que sería según la EHE art. 39.2:

T-R/AC/TM-A

*T* Indicativo que será HM en el caso de hormigón en masa, HA en el caso de hormigón armado y HP en el de pretensado.

*R* Resistencia característica especificada, en N/mm<sup>2</sup>.

*AC* autocompactable.

*TM* Tamaño máximo del árido en milímetros.

*A* Designación del ambiente.

Alternativamente, se podrá definir la autocompactabilidad mediante la combinación de las clases correspondientes al escurrimiento (AC-E) por el ensayo de escurrimiento, viscosidad por ensayo de escurrimiento y/o de embudo en V (AC-V) y resistencia al bloqueo (AC-RB) por ensayo de anillo japonés y/o caja en L, de acuerdo con la siguiente expresión:

T-R/(AC-E+AC-V+AC-RB)/TM/A

Clase	Criterio, según UNE 83.361
AC-E1	$550 \text{ mm} \leq d_f \leq 650 \text{ mm}$
AC-E2	$650 \text{ mm} < d_f \leq 750 \text{ mm}$
AC-E3	$750 \text{ mm} < d_f \leq 850 \text{ mm}^{(*)}$

Tabla 2. 3 Clases de escurrimiento

Se considera a los hormigones AC-E1 como los más recomendables para su uso en obra salvo que tengamos elementos fuertemente armados, encofrados difíciles de llenar o elementos horizontales que necesitemos nivelar en cuyo caso podemos recurrir a hormigones tipo AC-E3

Clase	Criterio por el ensayo de escurrimiento, según UNE 83.361	Criterio alternativo por el ensayo del embudo en V, según UNE 83.364
AC-V1	$2'5 \text{ seg} < T_{50} \leq 8 \text{ seg}$	$10 \text{ seg} \leq T_v \leq 20 \text{ seg}$
AC-V2	$2 \text{ seg} < T_{50} < 8 \text{ seg}$	$6 \text{ seg} \leq T_v \leq 10 \text{ seg}$
AC-V3	$T_{50} \leq 2 \text{ seg}^{(1)}$	$4 \text{ seg} \leq T_v \leq 6 \text{ seg}^{(1)}$

Tabla 2. 4 Clases de viscosidad

Clase	Exigencia de la característica	Criterio por el ensayo del anillo J, según UNE 83362 (*)	Criterio por el ensayo de caja en L, según UNE 83363
AC-RB1	Exigible cuando el tamaño máximo del árido sea superior a 20 mm o el espesor de los huecos por los que pase el hormigón esté comprendido entre 80 y 100 mm	$d_J \geq d_r - 50 \text{ mm}$ , con un anillo de 12 barras	$\geq 0,80$ , con 2 barras
AC-RB2	Exigible cuando el tamaño máximo del árido sea igual o inferior a 20 o el espesor de los huecos por los que pase el hormigón esté comprendido entre 60 y 80 mm	$d_J \geq d_r - 50 \text{ mm}$ , con un anillo de 20 barras	$\geq 0,80$ , con 3 barras

Tabla 2. 5 Clase de resistencia al bloqueo

Un ejemplo para un hormigón autocompactante en el que se especifiquen sus cualidades de fluidez y docilidad sería:

### HA-30/AC-E2-V2/20/IIa

Donde la tipificación pertenecería a un hormigón armado de 30 Mpa de resistencia a compresión, autocompactable con una torta en el ensayo de escurrimiento entre 650 y 750mm, un tiempo del ensayo T50 entre 2 y 8 segundos, tamaño máximo de 20 mm y ambiente IIa. No todas las nominaciones E, V, y RB tienen por que aparecer.

Otra forma sería la tipificación **HA-30/AC /20/IIa** donde solo se especificaría que es un hormigón autocompactante pero no se definen las nominaciones de escurrimiento, viscosidad o resistencia al bloqueo.

#### 2.5.4. Tipificación del hormigón autocompactante reforzado con fibras

En la normativa vigente española se contempla las tipificaciones de un hormigón con fibras y un hormigón autocompactante, pero en ningún momento se especifica la tipificación de un hormigón autocompactante con fibras. Siguiendo las líneas generales de nomenclatura de la EHE 08 la tipificación se definiría como:

$T - R / f-R1-R3 / AC / TM-TF / A$

*T* Indicativo que será HMF en el caso de hormigón en masa, HAF en el caso de hormigón armado y HPF en el caso de hormigón pretensado

*R* Resistencia característica a compresión especificada, en N/mm<sub>2</sub>

*f* Indicativo del tipo de fibras que será A en el caso de fibras de acero, P en el caso de fibras poliméricas y V en el caso de fibra de Vidrio

*R1,R3* Resistencia característica residual a flexotracción especificada  $f_{R,1,k}$  y  $f_{R,3,k}$ , en N/mm<sub>2</sub>

*AC* Consistencia autocompactante donde se puede especificar las nominaciones de escurrimiento E, viscosidad V y resistencia al bloqueo RB.

*TM* Tamaño máximo del árido en milímetros.

*TF* Longitud máxima de la fibra, en mm

*A* Designación del ambiente.

Un ejemplo sería:

**HA-30/P-2-2/AC-E2/20-30/IIa**

Donde tendríamos un hormigón armado de 30 Mpa de resistencia a compresión, reforzado con fibras poliméricas, una resistencia a flexotracción residual de 2N/mm<sup>2</sup>, consistencia autocompactante con una torta en el ensayo de escurrimiento entre 650 y 750mm, 20mm de tamaño máximo de árido, 30mm de tamaño de fibra y un ambiente IIa.

## **2.6. Dosificación del HAC reforzado con fibras**

Un hormigón autocompactante reforzado con fibras debe tener una dosificación muy cuidada si se quieren conservar sus propiedades tanto en estado fresco como ya endurecido. Son hormigones que cualquier pequeña variación en el agua, aditivo, cemento etc pueden significar la catástrofe en la mezcla. Estos hormigones no deben segregar y al mismo tiempo tienen que tener una gran trabajabilidad y para ello debe de haber un gran equilibrio tanto en la relación agua/cemento como con el aditivo superfluidificante.

Vamos a ver como cada uno de los componentes de la dosificación puede influir en las características reológicas y mecánicas del hormigón y los parámetros entre los cuales se recomienda una dosificación:

### **2.6.1. Dosificación del árido**

En este tipo de hormigones predomina un árido de tamaño más bien bajo, el tamaño máximo del árido se limita a 25mm para hormigones autocompactantes según la EHE 2008. Pero esto varía según la disposición de armaduras y el tipo de fibras que se quieran utilizar. Es recomendable de todas formas que el tamaño máximo este en torno entre 12 y 20mm.

Limitar el contenido de árido grueso reduce el riesgo de incremento de las tensiones internas de rozamiento de la masa en estado fresco, que podrían producir el bloqueo de la mezcla. Cuanto menos árido grueso tengamos y más árido fino tendremos un hormigón más docil, pero sin embargo el precio incrementará ya que las cantidades de cemento por regla general aumentaran.

Para subsanar este problema debemos de cuidar la granulometría y seleccionar los áridos de forma que esta sea lo más continua posible para que la matriz sea lo más compacta posible reduciendo los huecos intersticiales entre los granos de los áridos lo máximo posible.

### **2.6.2. Dosificación del filler**

Para estabilizar la granulometría y las diferencias de tamaño de árido se suelen utilizar finos con un tamaño menor de 0,125mm y que normalmente son de origen calizo para de esta forma mejorar la docilidad. Cuanto menos discontinua sea la granulometría mejor funcionará la puesta en obra y compactabilidad del hormigón.

La cantidad del filler calizo suele situarse en un 23% de la masa del hormigón pero esto varía notablemente según el tipo de dosificación.

El filler se puede utilizar para corregir los excesos de aditivo o de agua, es decir cuando el hormigón segrega o produce exudación al incorporarle una cantidad mayor de finos estos demandaran más agua corrigiendo los posibles excesos. Pero por el lado

contrario un exceso de finos acarrea que la pasta sea menos trabajable y que la capacidad de autocompactarse y su docilidad se vean menguadas.

### 2.6.3. Dosificación del agua

Aumentar el agua como es comprensible aumentará la trabajabilidad y facilidad de puesta en obra pero sin embargo aumentaremos la relación agua/cemento. Cuando aumentamos la cantidad de agua corremos el riesgo de que al evaporarse se creen conductos capilares que van a causar un descenso en las resistencias y durabilidad del hormigón (más capilares = menos compacidad).

La cantidad de agua en este tipo de hormigones es más baja por que realmente solo es necesaria el agua suficiente para hidratar el cemento y poco más, ya que nos es necesario aportar mayor cantidad de agua para aumentar la trabajabilidad.

En un hormigón corriente sin aditivo superfluidificante aproximadamente solo el 25% del agua es la necesaria para hidratar el cemento y el resto es simplemente para dar trabajabilidad.

La cantidad de agua total empleada en el HAC debe guardar una relación con el volumen de finos de 0.8 a 1.1, que varía según las condiciones. Relaciones volumétricas agua/finos inferiores a 0.8 generan hormigones demasiado cohesivos, que necesitan mucho volumen para autocompactarse. Contrariamente, relaciones superiores a 1.1 implican un elevado riesgo de exudación. Si se emplea aditivo modulador de viscosidad, la relación del contenido de agua con el volumen de finos es más flexible en el aspecto que es posible incrementar el contenido de agua (relación a/f superior a 1.1) ya que el modulador de viscosidad, gracias a su efecto cohesionante, actúa como elemento corrector.

Un exceso de agua producirán segregaciones mientras que un defecto de la misma conlleva que las características reológicas exigidas al hormigón se reduzcan.

### 2.6.4. Dosificación del cemento

En este tipo de hormigones usamos grandes cantidades de cemento por diferentes razones. Primero por la trabajabilidad que aporta a la mezcla, recordemos que las partículas de cemento tienen una finura que pasa por el tamiz de 0,125mm. Segundo por las resistencias que aporta y por que conforma la matriz, al haber más áridos pequeños y más superficie específica necesitamos más cantidad de cemento para conformar la matriz.

Pero un exceso de cemento puede acarrear serios problemas por una gran demanda de agua y por consiguiente una pérdida de plasticidad en la mezcla y por el gran calor de hidratación que nos haría perder mayor cantidad de agua en las

retracciones. Esto depende del tipo de cemento, sus adiciones y la finura de molido, a mayor finura mayor reactividad y mayor exigencia de agua.

Por estos motivos la EHE 08 recomienda una cantidad mínima de cemento de entre 300 y 350Kg por metro cúbico y un máximo de 500kg para evitar un excesivo calor de hidratación.

### 2.6.5. Dosificación aditivo superfluidificante

Los tipos y efectos de aditivos son muy numerosos pero hablando del HAC es fundamental el uso de un aditivo superfluidificante, para modificar la trabajabilidad sin variar la relación agua/cemento, ya que esto origina un descenso en la resistencia del mismo.

Estos tipos de aditivos de última generación suelen estar basados en un policarboxilo que rompe la tensión superficial del agua haciendo que el agua de amasado en mínima cantidad pueda optimizarse en un 20 o 30% pudiendo llegar hasta un 40%.

Es conveniente intentar optimizar al máximo el uso del aditivo para obtener la máxima trabajabilidad con el menor contenido de agua. Normalmente y hablando de aditivos de tercera generación (que son los frecuentemente usados) las cantidades van en torno a 1-2% del peso del cemento. Esto depende del tipo de aditivo y de su máximo poder de reacción, dado que si con una cantidad del 2% por ejemplo llegamos al máximo eso quiere decir que aunque pongamos mayor cantidad no tendrá un efecto reductor mayor.

### 2.6.6. Dosificación del aditivo viscosante

En dosificaciones con gran cantidad de árido grueso o por otros motivos es posible que se produzcan segregaciones y exudación. Para reducir este problema es adecuado el uso de aditivos estabilizadores o cohesionantes que aumentan la viscosidad de la mezcla hasta el punto de evitar la segregación.

Este aditivo en exceso reduce notablemente la trabajabilidad, por ello es necesario encontrar el equilibrio correcto entre superplastificante y cohesionante. Algunas marcas de aditivos comercializan a los dos tipos en un mismo producto. Las cantidades para la dosificación van en porcentaje del peso del cemento y varían según el tipo de aditivo:

Clase A: polímeros orgánicos que aumentan la viscosidad dosificación entre 0,2-0,5% del peso del cemento.

Clase B: Floculantes orgánicos que crean una atracción entre las partículas de cemento aumentando así la viscosidad. Dosificación entre 0,01-0,1% peso del cemento.

Clase C: emulsiones acrílicas o dispersiones acuosas de arcillas que aumentan la atracción entre partículas. Dosificación entre 0,1-1,5% peso del cemento.

### **2.6.7. Dosificación de fibras**

La efectividad de las fibras depende del contenido, material, forma y longitud de las mismas. No hay unas cantidades mínimas o máximas de fibra por metro cúbico ya que esto depende del uso y finalidad del hormigón, pero si que la EHE 08 recomienda que si las fibras tendrán un comportamiento estructural no es recomendable dosificaciones con menos de 20 kg/m<sup>3</sup>.

Algunos especialistas si recomiendan que la cantidad máxima de fibras no supere entre el 1,5-2% del volumen del hormigón ya que entonces los efectos serán contraproducentes a los deseados.

La dosificación de fibras en hormigones para pavimentos suele estar comprendida entre 30 y 60kg/m del volumen de hormigón, pudiendo llegarse en aplicaciones especiales, tales como protecciones militares, a valores de 120kg/m.

En cuanto a la longitud de las fibras la EHE especifica en su anejo 14 que las fibras metálicas deben tener una longitud dos veces el tamaño del árido mayor y si la puesta en obra va a ser por bombeo el tamaño debe ser inferior a 2/3 del diámetro del tubo. Es usual utilizar una longitud de 2,5 o 3 veces el tamaño máximo del árido.

## **2.7. Prescripciones del HAC reforzado con fibras**

### **2.7.1. Amasado y transporte**

A la hora de amasar el conjunto es muy importante mantener la energía y tiempo suficiente para crear una mezcla homogénea. Los aditivos tienen un tiempo variable de reacción que debemos de respetar para conseguir el efecto deseado en el momento adecuado.

En el amasado y transporte también interviene el tipo de cemento, ya que cementos con una mayor finura de molido provocarán reacciones en un menor tiempo. Los cementos con terminación R son los que primero desarrollan resistencias iniciales por ser más reactivos por los motivos antes mencionados, por ello se recomiendan usar estos cementos para hormigones de prefabricados que no requieren de transporte y son utilizados en el momento cuando están en el correcto punto de amasado.



Como es lógico no es aconsejable el uso de cementos tipo R en mezclas que tengan un transporte prolongado por que pueden reducir las características de docilidad del hormigón cuando lleguen a obra.

Según la EHE el tiempo de amasado depende del tipo de aparato mezclador y debe realizarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante. En cualquier caso, no será inferior a 2 minutos ni superior a 4 minutos (art 70.4.1.2.) No obstante, el tiempo de amasado tampoco debe ser excesivamente prolongado para evitar la generación de finos debido a la friabilidad del mortero adherido del árido reciclado. Se recomienda ajustar el tiempo de amasado realizando ensayos característicos (art 71.3.3)

La incorporación de las fibras debe de hacerse cuando la pasta ya tenga la trabajabilidad óptima y se le haya incorporado el agua y el aditivo. Es importante que la amasadora tenga la potencia y diseño necesario para poder realizar la mezcla homogénea.

Durante el amasado con las fibras corremos el riesgo de la formación de erizos (acumulaciones de fibras), para reducir este problema tenemos que optimizar la dosificación e incorporar la adecuada cantidad de árido fino ya que a más árido grueso y mayor esbeltez de fibras mayor formación de erizos.

Si se prevea un transporte excesivamente largo la formación de erizos aumenta y especialmente si las fibras son muy esbeltas.

En el caso de preveer un transporte largo puede plantearse la adición de fibras en la propia obra. Para ello debemos de tener un hormigón lo suficientemente fluido para dejar que las fibras lleguen hasta el fondo de la cuba y procederemos a mezclar poco a poco las fibras con la amasadora girando a su máxima velocidad.

### 2.7.2. Vertido

Antes de la puesta en obra es muy importante hacer una previsión del tipo de encofrado y de la estanqueidad del mismo. Uno de los principales problemas de la puesta en obra de estos hormigones es los empujes que pueden recibir el encofrado en el vertido sobre todo si es con bomba.

La fluidez del hormigón provoca que en elementos verticales de gran altura que los empujes del encofrado puedan causar la caída o rotura del mismo provocando su colapso, por ello hay que preveer la presión que ofrecerá el hormigón a las paredes del encofrado y calcular si este podrá resistirlos.

Es importante hacer un correcto vertido a la altura y dirección adecuadas ya que en hormigones tan fluidos es muy fácil crear una segregación no deseada que puede acarrear problemas, sobre todo al usar hormigones con fibras. Según la EHE 08 define que la altura máxima de vertido en caída libre será de dos metros y nunca se realizará el vertido cuando el hormigón halla empezado a fraguar.

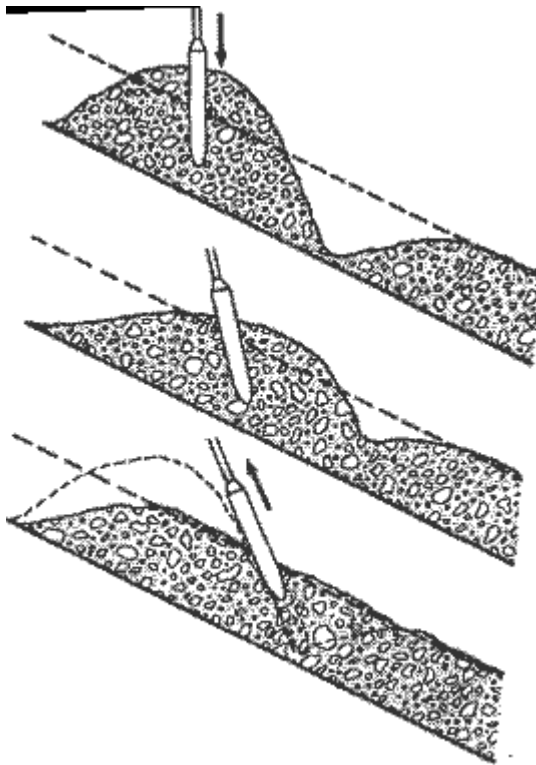
Procuraremos que su vertido sea en vertical evitando desplazamientos del mismo.

El hormigón debe ir dirigido mediante canaletas o cualquier otro método de forma que no se produzca el choque contra el armado o el encofrado.

En el caso de un hormigón convencional si la masa a hormigonar tuviese mucho espesor se deben realizar tongadas que puedan compactarse correctamente de unos 30 cm aproximadamente. En el caso de hormigones autocompactantes se pueden aumentar el espesor de las tongadas al autocompactarse solo pero es preferible respetar la dimensión para evitar posibles problemas de empujes en el encofrado.

El diámetro del tamaño máximo del árido cuando sea la puesta en obra mediante bomba será de  $\frac{1}{4}$  del diámetro de la tubería para evitar bloqueos del hormigón.

En superficies inclinadas el hormigón tiende a caer hacia la pendiente por su propio peso por ello para evitar segregaciones y desplazamientos del hormigón hay que dar un flujo de vertido de abajo a arriba.



**Ilustración 2. 4 Sentido de vertido inclinado.**

### 2.7.3. Juntas frías

El vertido se realizará controlado, sin interrupciones, asegurando siempre la caída del hormigón sobre hormigón fresco previamente vertido, haciendo avanzar el frente de hormigonado de manera continua de un extremo a otro del elemento y por capas, garantizando un correcto hormigonado. Impidiendo así que se puedan encontrar dos frentes de hormigonado y producirse una junta fría.

Por esta tipología de hormigón cuando se produce una junta fría no se puede asegurar que las fibras queden adecuadamente repartidas por lo que es como si no trabajasen ya que el enfrentamiento entre los dos hormigones puede provocar que las fibras giren y su orientación varíe y por lo tanto que no trabajasen correctamente. En la zona de una junta fría la ductilidad se ve menguada y pueden aparecer macrofisuras.



Imagen 2. 6 Vertido en una planta de prefabricado

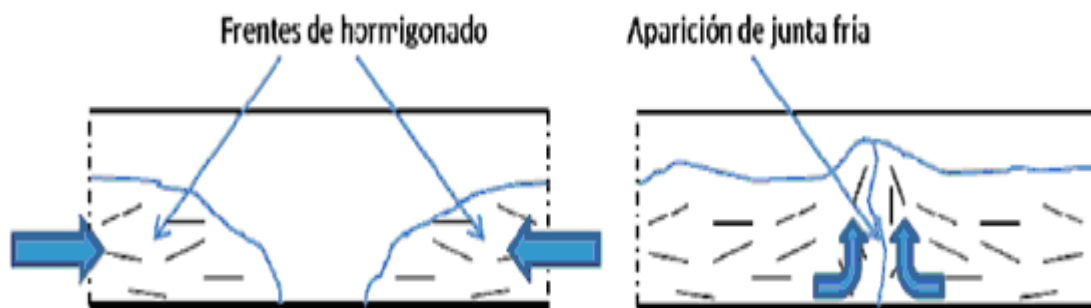


Ilustración 2. 5 Ejemplo de formación de junta fría por enfrentamiento de frentes de hormigonado

### 2.7.4. Curado

En los primeros momentos posteriores al hormigonado son los más peligrosos y los que más riesgo se comprende. El hormigón pierde agua y esto se traduce con una disminución de su volumen, esta disminución provoca tensiones que el hormigón en edades tan tempranas no puede absorber. En el caso de disponer un hormigón reforzado con fibras estas le confieren la resistencia necesaria para poder absorber estas tensiones deteniendo la fisuración. Por lo tanto es altamente aconsejable el uso de fibras para elementos superficiales como soleras, losas, etc donde tenemos un alto riesgo de retracción.

En el hormigón sin fibras, en la fase retracción plástica se produce un gran numero de micro grietas y cuando el hormigón se somete a un esfuerzo, las micro grietas van

evolucionando haciéndose mayores y enlazándose unas con otras. Al continuar ejerciéndose la carga, algunas de estas grietas comienzan a hacerse inestables y a fallar traspasando el hormigón de un lado a otro. Por el contrario las fibras cambian ese comportamiento ya que interrumpen y estabilizan las micro-grietas.

### 2.7.5. Acabado

El acabado final de un elemento de hormigón autocompactante, dependerá de las precauciones tomadas a la hora de elegir un buen encofrado con el fin de no tener pérdidas de lechada, deformaciones en la superficie, manchas u oquedades; y una correcta puesta en obra.

Si el encofrado tiene una superficie correcta el hormigón tendrá un buen acabado. El hecho de ser un hormigón autocompactante permite que este se introduzca en todos los rincones del encofrado ocupando todo el volumen y reduciendo el número de coqueras y defectos al mismo.

El hormigón con fibras vertido junto a las paredes del encofrado produce un efecto denominado efecto pared, lo cual origina que las fibras se organicen paralelamente a la pared en la línea del sentido del hormigonado. Con esta organización de fibras queda una capa de hormigón que va hacia el exterior provocada por el vertido, por lo tanto no tendremos fibras en el exterior junto a la cara del encofrado. De esta forma al desencofrar obtendremos un buen acabado liso y sin fibras.

En la zona que queda en la parte superior de vertido y toda aquella que no este en contacto con un encofrado si que es posible que queden fibras en la superficie, para obtener un buen acabado liso basta con pasar una llana y dejar endurecer el hormigón. Durante el proceso, la llana debe mantenerse plana, pues, de lo contrario, se pueden extraer parcialmente las fibras.

Las zonas más conflictivas en un hormigón con fibras son las aristas y las esquinas, debiéndose, si es factible, achaflanarlas o redondearlas. De esta forma, se

reduce el número de fibras que tienden a aflorar a la superficie y que resultan antiestéticas y potencialmente peligrosas.

### 2.7.6. Principales defectos

Una mala ejecución puede provocar unas patologías que pueden desencadenar graves problemas o como mínimo defectos estéticos. Si bien es cierto que con este tipo de hormigones al no tener que vibrar por su autocompactación se deben de seguir cuidando la puesta en obra y minorizar los problemas lo máximo posible.

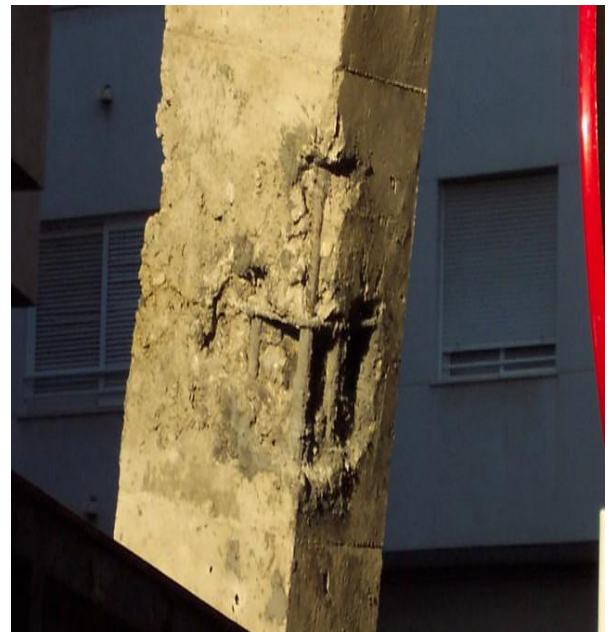
#### Segregación

Se produce cuando por diferencia de densidades y falta de estabilidad del hormigón las partículas más pesadas de la mezcla se depositan en el inferior mientras que las más livianas quedan en la parte superior dando un hormigón poco homogéneo con los problemas que ello puede acarrear como menor durabilidad, problemas mecánicos, etc.



#### Coqueras

En este tipo de hormigones es un problema mucho más minoritario que en hormigones convencionales, los cuales son necesario vibrarlos y el no hacerlo provoca huecos (coqueras) en la masa que en algunas ocasiones dejan vista la armadura cuando este ha endurecido. No hay que decir el gran riesgo de durabilidad que se corre si las coqueras son pronunciadas. Este fenómeno depende de la cohesión del hormigón, de la calidad/tipo de encofrado, y del tipo de desencofrante. El aire saldrá más fácilmente del hormigón si el ritmo de vertido en el encofrado se realiza lentamente. El desplazamiento horizontal que realiza el HAC por su propiedad expansiva dentro de un encofrado también ayuda a expulsar el aire.

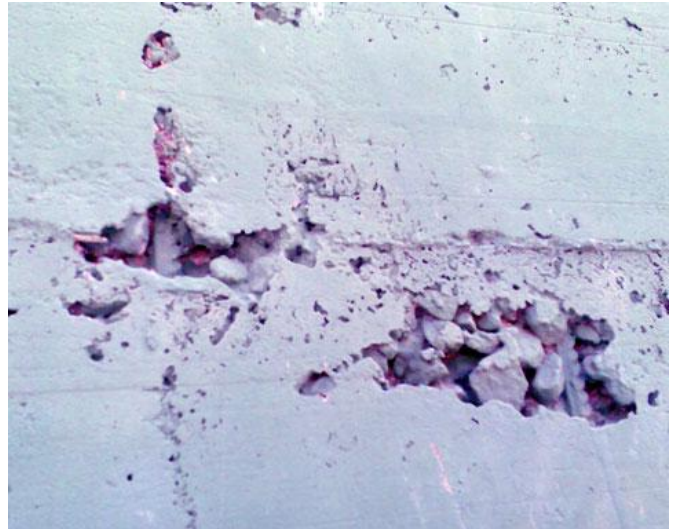


### Oquedades

Son pequeñas oquedades o huecos que se producen por varios motivos, donde uno de los principales es la salida de lechada por una falta de estanqueidad del encofrado.

Otro motivo puede ser el bloqueo del árido grueso por un mal diseño de la dosificación o por no haber tenido en cuenta la separación real de armaduras.

Para que este error no se cometa hay que tener especial cuidado en la disposición de armaduras y encofrados en las zonas correctas.



### Fisuración por retracciones

Durante el proceso de fraguado y endurecimiento al aire, el hormigón contrae su volumen dicho proceso se denomina retracción. El hormigón posee dos tipos de retracción por pérdida de agua: la retracción autógena que se produce por la pérdida de agua consumida en la hidratación del cemento, es decir, se pierde el agua de la pasta, la cual tiene lugar principalmente en las primeras edades, y la retracción por secado, ocurre con la pérdida posterior de agua por evaporación, y que tiene lugar a más largo plazo.

En los primeros días hay que hacer un buen curado para evitar las retracciones en el hormigón ya que este fenómeno puede acarrear graves consecuencias en el material. Cuando se produce un desecado muy rápido y poco periódico del hormigón surgen grietas y fisuras por la disminución de volumen, problema que va acarrear graves consecuencias en la durabilidad dejando una mayor permeabilidad a los elementos nocivos del exterior.



## **2.8. Características en estado fresco del HAC reforzado con fibras**

### **2.8.1. Elevada fluidez**

Se caracteriza por una elevada fluidez de forma que con un hormigonado desde un punto logra extenderse y llegar a todos los puntos del encofrado solo por su propio peso sin necesidad de vibrar. Esto supone una clara reducción de la mano de obra y de

ruidos y molestias originados en la puesta en obra. Con la suma de que tendremos una mayor seguridad de que la pieza ha quedado perfectamente hormigonada, pese a la gran cantidad de armaduras o dificultad en las formas del encofrado y sin la aparición apenas de coqueras o defectos de puesta en obra.

Las siguientes imágenes corresponden a la reparación del Barranco del Alamin en Guadalajara (España). En ellas podemos ver como se realiza el vertido del hormigón autocompactante en un solo punto y como el solo va distribuyéndose a todos los rincones por la fuerza de la gravedad y su propio peso. Comprobamos que la mezcla es totalmente homogénea y sin segregaciones por lo que tenemos un hormigón homogéneo con una cómoda puesta en obra.



Imagen 2. 7 Vertido de HAC

### 2.8.2. Resistencia a la segregación

La segregación del hormigón es la separación de sus componentes en estado fresco de forma que en su vertido o transporte presente una distribución de sus partículas no uniforme. El resultado de una segregación en un hormigón es una distribución de los elementos más pesados (áridos gruesos generalmente) en el fondo, lechada y elementos menos pesados en las zonas superiores y superficie con la consiguiente aparición de coqueras y poros que disminuirán las resistencias y durabilidad.

Para una adecuada puesta en obra el hormigón debe fluir de forma conveniente pero de una forma en que sus componentes se hallen en la misma proporción en todas las zonas de la pieza, es decir, en toda su masa encontremos un hormigón homogéneo y sin segregación.

Para determinar el nivel de segregación es muy útil el ensayo de escurrimiento. En la primera foto podemos apreciar uno de estos ensayos realizado por nosotros mismos en el laboratorio y como en la torta de hormigón se puede apreciar que es homogénea en todas sus zonas.



agen 2. 8 Torta de HAC homogenea

En la segunda foto vemos las diferencias con un hormigón totalmente segregado donde se observa la acumulación del árido grueso en el centro y conforme las partículas van pesando menos y teniendo menos densidad se van hacia el exterior de la torta, terminando con un halo perimetral de la lechada.





Imagen 2. 9 Torta con segregación

### 2.8.3. Tiempo abierto y tiempo de uso

Se conoce tiempo de uso como el necesario para la fabricación, transporte y puesta en obra del hormigón. El tiempo abierto es el tiempo en el cual el hormigón conserva su trabajabilidad y autocompactibilidad para las que fueron diseñados.

El fraguado del hormigón esta íntimamente ligado a los tiempos de uso y abierto por lo tanto entran muchos parámetros en juego tanto intrínsecos de los propios componentes como extrínsecos de factores externos.

El tipo de finura del cemento y tiempo de reacción del mismo juegan un papel importante, a mayor finura menor tiempo de uso ya que el hormigón empezará a fraguar e hidratarse en menor tiempo.

El uso de aditivos retardadores aumentan los tiempos de uso.

La temperatura en el ambiente intervienen en estos factores ya que a mayor temperatura las reacciones se agilizan y el agua se pierde con mayor rapidez por lo que la trabajabilidad del hormigón se pierde.

### 2.8.4. Robustez

Es la capacidad del hormigón autocompactante de mantener las condiciones reológicas para las que ha sido diseñado ante pequeños cambios de sus componentes y fabricación.

Dado que este tipo de hormigones presentan una dosificación muy compleja y cuidada son mucho más sensibles a los cambios en la fabricación y en sus componentes que lo que podría ser un hormigón convencional.

Las variaciones de humedad en sus componentes como por ejemplo en los áridos son sumamente influyentes en la reología del material. La más mínima variación en la relación agua/cemento o en las cantidades de aditivos provocan grandes variaciones. El tipo de cemento y sus posibles incompatibilidades con aditivos, su demanda de agua, etc son factores muy a tener en cuenta en las dosificaciones.

Un hormigón con un alto nivel de robustez se traduce como un hormigón que se presenta invariable o menos sensible a los posibles cambios en las cantidades de la dosificación o en las características de los componentes sin variar su capacidad de fluir o resistencia al bloqueo. Una falta de robustez se puede manifestar como una pérdida de docilidad y estabilidad reológica. Otros síntomas de la falta de robustez es las segregaciones y exudaciones debidas principalmente a un exceso de agua o superplastificante o a la imposibilidad de los áridos de retener el agua por su granulometría excesivamente gruesa.

### 2.8.5. Resistencia al bloqueo

La resistencia al bloqueo o también llamada capacidad de paso se define como la propiedad que tiene el hormigón para pasar entre barras de armaduras, estrechamientos u obstáculos sin producirse ningún bloqueo del árido grueso. Por lo tanto esta propiedad va ligada tanto a la geometría de la pieza a hormigonar y distancia entre armaduras como al tamaño máximo del árido.

Para evaluar este parámetro son especialmente interesantes el ensayo en V, el anillo japonés y el ensayo de la caja en L.

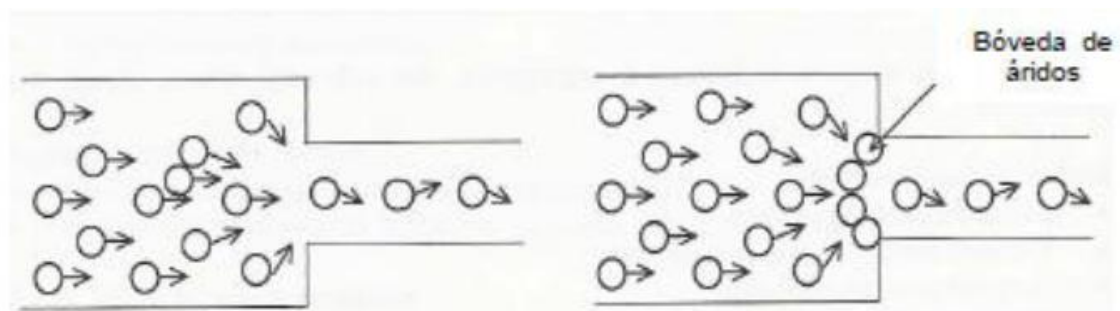


Ilustración 2. 6 Simulación de bloqueo

### 2.8.6. Reología

La reología es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia. Esta ciencia estudia como un material se deforma y fluye frente a una tensión aplicada por sus propias características y por que sus propios factores de cohesión son finitos en un tiempo determinado.

Para facilitar el entendimiento se utilizan las gráficas de curva de flujo donde se representa en uno de sus ejes la tensión de deformación o tensión de corte y en el otro el gradiente de velocidades de deformación.

Al verter el hormigón y ponerlo en movimiento se le proporciona al fluido una velocidad que varía según la resistencia que ofrezca el rozamiento entre sus partículas.

Una vez iniciado el movimiento, se requiere seguir aumentando la fuerza aplicada al fluido para conseguir "acelerarlo", debido a la cohesión entre las partículas. Esta resistencia posterior se mide a través de la viscosidad  $\alpha$ . Esto es lo que se denomina el modelo reológico de Bingham.

En la siguiente imagen podemos ver como a medida que aumenta la deformación aumenta la tensión ya que el coeficiente de rozamiento es mayor y es necesaria una mayor fuerza para deformarlo.

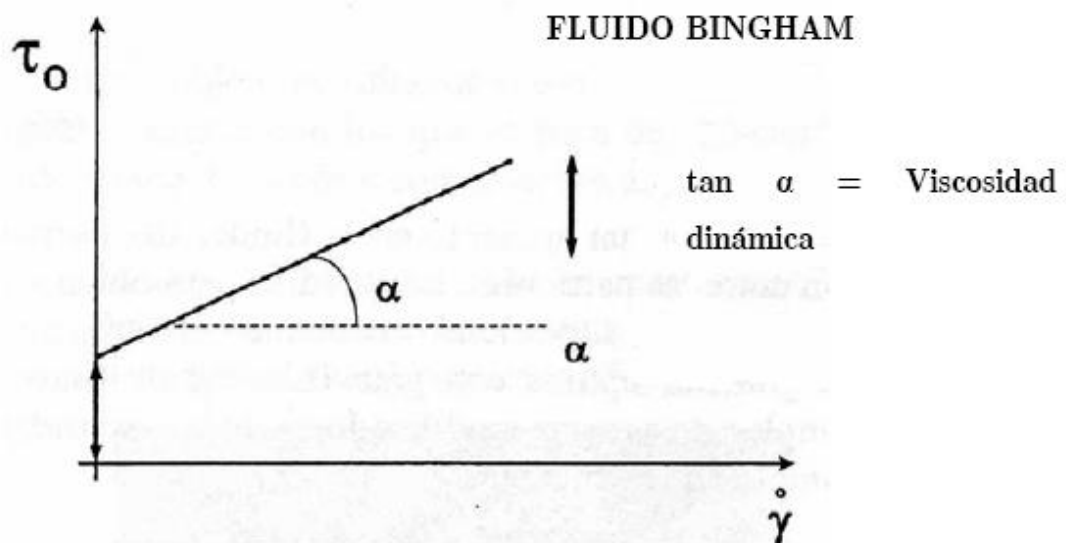


Ilustración 2. 7 Parámetros reológicos según el modelo Bingham

El hormigón autocompactante a diferencia de un hormigón convencional tiene una tensión umbral muy baja y la viscosidad suficiente para facilitar la puesta en obra ocupando todo el volumen del encofrado con su propio peso sin métodos de compactación externos y sin producir segregaciones. Por supuesto aquí intervienen el contenido de agua, finos y aditivos de la dosificación.

Tanto la viscosidad como la resistencia al movimiento para una velocidad de movimiento determinada aumenta, si aumenta el contenido de finos o si desciende el contenido de agua ocurriendo, es decir al aumentar los finos o disminuir el agua la viscosidad aumenta, por lo tanto se necesita mayor tensión para su deformación. De la misma forma aumentando el contenido de aditivos la resistencia inicial al movimiento desciende.

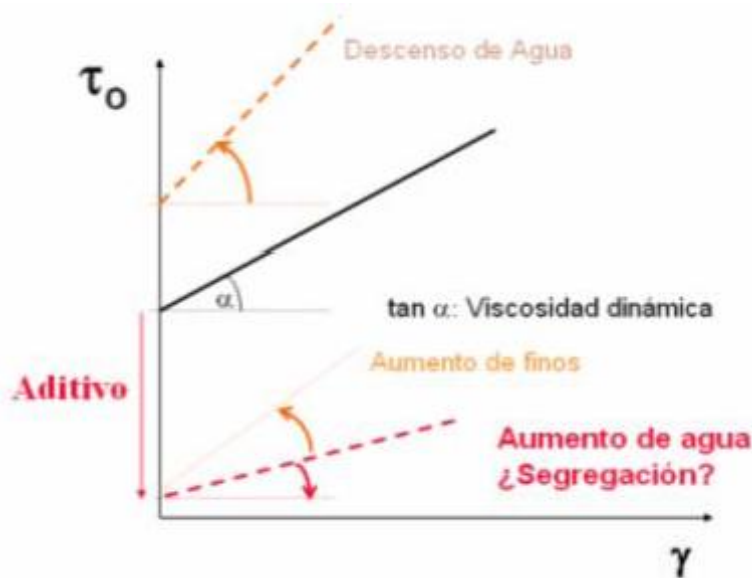


Ilustración 2. 8 influencia en el HAC del contenido de agua, finos y aditivo

Comparando el hormigón autocompactante con un hormigón convencional, el primero presenta una tensión de inicio de flujo inferior, similar a la que presentan los hormigones fluidos; pero a diferencia de éstos, en los que la viscosidad es menor que la de un hormigón convencional, la viscosidad del hormigón autocompactante es mayor incluso que la de los hormigones convencionales, asegurando la cohesión. Sin embargo, es necesario destacar que aunque una baja tensión de inicio de flujo es un objetivo común en cualquier aplicación con hormigón autocompactante, la viscosidad puede variar de forma considerable dependiendo de la técnica de producción y de la aplicación.

En un hormigón autocompactante nos interesa una tensión de umbral baja para ponerlo en obra cómodamente con una viscosidad media-alta para que de esta forma no haya segregación. En el caso de que tuviéramos una viscosidad baja como en el hormigón fluido se produciría la segregación y falta de homogeneidad.

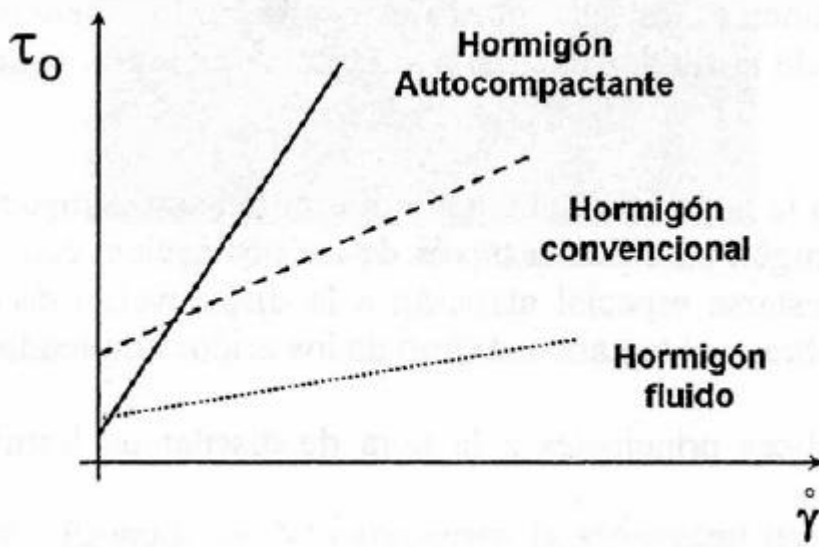


Ilustración 2. 9 comparación reológica entre los diferentes hormigones

Vamos a ver las distintas características que pueden influenciar en el hormigón autocompactante en su reología:

- A mayor cantidad grava y de agua disminuye la cantidad de cemento y tanto la consistencia como la viscosidad.
- Al aumentar la cantidad de finos la viscosidad aumenta y por lo tanto la tensión entre las partículas.
- Si aumentamos el contenido de superfluidificante la viscosidad disminuye, aumentando la deformación y disminuyendo la tensión de corte.
- Si aumentamos el aditivo viscosante aumenta la viscosidad por lo tanto la tensión para que se produzca la deformación deberá de ser mayor.
- Los áridos de machaqueo aportan una menor trabajabilidad a la mezcla que el uso de áridos rodados ya que el roce por su forma recondeada reduce la tensión entre ellos.
- A mayor contenido de aditivo superfluidificante disminuiríamos la tensión inicial.

### 2.8.7. Parámetros de docilidad según EHE 08

Dado que este tipo de hormigones no pueden caracterizarse con los procesos o ensayos de los hormigones convencionales la EHE 08 establece en su artículo 31.5 en el anejo 17, una serie de ensayos normalizados a través de los cuales podemos realizar la caracterización del material.

- Para medir la fluidez: ensayos de escurrimiento según UNE 83.361 o de ensayos de escurrimiento en embudo en V, según UNE 83.364.
- Para medir la resistencia al bloqueo: mediante ensayos del escurrimiento con anillo J, según UNE 83.362 y mediante ensayos de la caja en L, según UNE 83.363.
- Para resistencia a la segregación: No existen ensayos normalizados para ello pero se pueden evaluar mediante el ensayo del escurrimiento analizando la torta visualmente y verificando que es homogénea (no tiene aureolas de agua alrededor, acumulaciones de árido grueso en la parte central, etc). También es conveniente realizar el ensayo de embudo en V para contrastar datos.

Según la EHE 08 se dan una serie de tablas en su artículo 32.9 en el anejo 17, con los parámetros de medición necesarios para poder hacer una clasificación y tipificación del hormigón según estos ensayos:

\* Para el ensayo del escurrimiento (fluidez) la tabla especifica las medidas de diámetro de la torta:

Clase	Criterio, según UNE 83.361
AC-E1	$550 \text{ mm} \leq d_f \leq 650 \text{ mm}$
AC-E2	$650 \text{ mm} < d_f \leq 750 \text{ mm}$
AC-E3	$750 \text{ mm} < d_f \leq 850 \text{ mm}^{(*)}$

Tabla 2. 6 Clases de escurrimiento

\*Para el ensayo de escurrimiento T50 que es el tiempo que tarda en llegar la torta al diámetro 50cm y para el ensayo del embudo en V para controlar la viscosidad y fluidez.

Clase	Criterio por el ensayo de escurrimiento, según UNE 83.361	Criterio alternativo por el ensayo del embudo en V, según UNE 83.364
AC-V1	$2'5 \text{ seg} < T_{50} \leq 8 \text{ seg}$	$10 \text{ seg} \leq T_v \leq 20 \text{ seg}$
AC-V2	$2 \text{ seg} < T_{50} < 8 \text{ seg}$	$6 \text{ seg} \leq T_v \leq 10 \text{ seg}$
AC-V3	$T_{50} \leq 2 \text{ seg}^{(*)}$	$4 \text{ seg} \leq T_v \leq 6 \text{ seg}^{(*)}$

Tabla 2. 7 Clases de viscosidad

\*Para medir la resistencia al bloqueo la podemos determinar mediante estos parámetros de tolerancia de los ensayos del anillo Japonés y la caja en L.

Clase	Exigencia de la característica	Criterio por el ensayo del anillo J, según UNE 83362 (*)	Criterio por el ensayo de caja en L, según UNE 83363
AC-RB1	Exigible cuando el tamaño máximo del árido sea superior a 20 mm o el espesor de los huecos por los que pase el hormigón esté comprendido entre 80 y 100 mm	$d_J \geq d-50 \text{ mm}$ , con un anillo de 12 barras	$\geq 0,80$ , con 2 barras
AC-RB2	Exigible cuando el tamaño máximo del árido sea igual o inferior a 20 o el espesor de los huecos por los que pase el hormigón esté comprendido entre 60 y 80 mm	$d_J \geq d-50 \text{ mm}$ , con un anillo de 20 barras	$\geq 0,80$ , con 3 barras

Tabla 2. 8 Clases de resistencia al bloqueo

Independientemente de los parámetros para realizar la tipificación la EHE 08 en su artículo 31.5 anejo 17 dispone unos mínimos para considerar al hormigón como autocompactante. Estos parámetros definen unos mínimos en los ensayos de escurrimiento, embudo en V, caja en L y anillo japonés. Los datos indicados en la siguiente tabla son mínimos y deben de cumplirse de forma simultánea, es decir, por que se cumpla uno no quiere decir que sea excluyente con los demás.

Ensayo	Parámetro medido	Rango admisible
Esgurrimiento	$T_{50}$	$T_{50} \leq 8 \text{ seg}$
	$d_f$	$550 \text{ mm} \leq d_f \leq 850 \text{ mm}$
Embudo en V	$T_V$	$4 \text{ seg} \leq T_V \leq 20 \text{ seg}$
Caja en L	$C_{bL}$	$0,75 \leq C_{bL} \leq 1,00$
Esgurrimiento con anillo J	$d_{Jf}$	$\geq d_f - 50 \text{ mm}$

Tabla 2. 9 Requisitos generales de autocompactabilidad

## **2.9. Características mecánicas del HAC reforzado con fibras**

### **2.9.1. Resistencia a flexotracción**

El hormigón convencional por si solo es un material realmente frágil que por su estructura y características no resiste grandes deformaciones. Su tenacidad se debe en gran porcentaje por la resistencia que es capaz de acumular hasta llegar a la tensión de rotura, pero en cambio la cantidad de energía acumulada por su deformación es mínima. Las fibras mejoran notablemente este aspecto ya que ante el fallo del hormigón las fibras suponen un gran incremento en las deformaciones residuales.



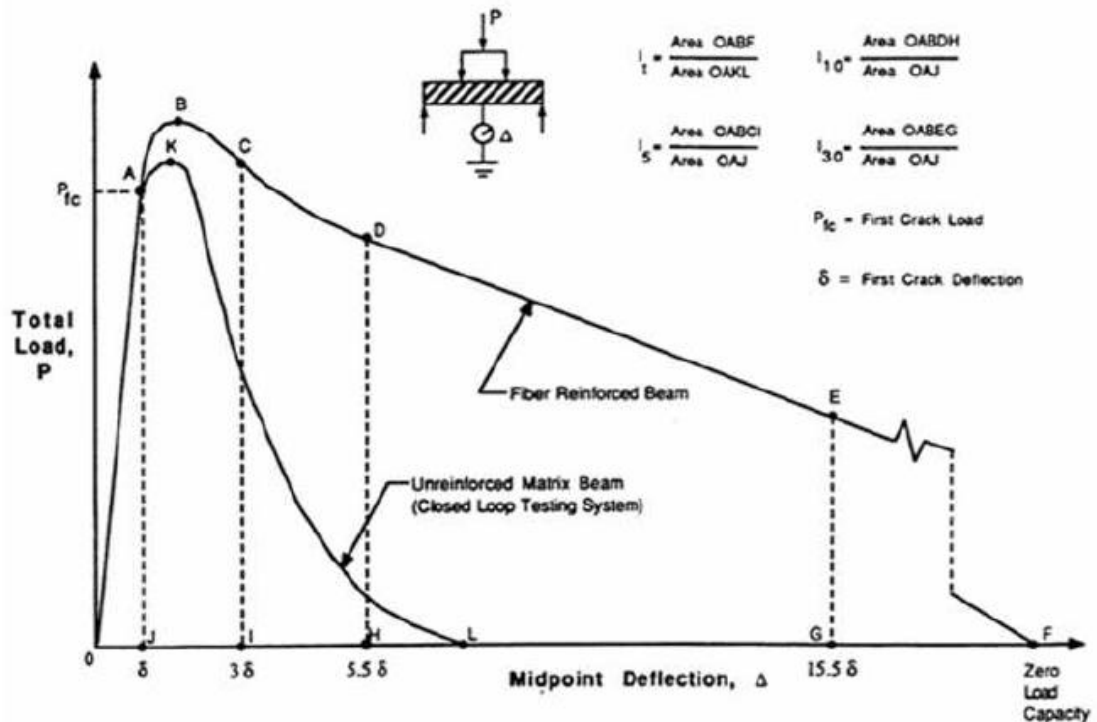


Ilustración 2. 10 Diagrama curva carga-deflexión del ensayo de resistencia a la flexión (norma ACI 544.2R)

En el diagrama superior de la norma ACI 544.2R podemos observar la curva de carga-deflexión tipo de un ensayo a flexotracción. Claro está que este diagrama varía según el ensayo, materiales, tipo de viga y numerosos factores, pero puede servir para obtener los conceptos básicos de cómo funciona el HAC reforzado con fibras.

En la gráfica vemos las dos curvas, la del HAC reforzado con fibras (la mayor), y la del HAC sin reforzar con fibras (la menor). La curva del hormigón con fibras llega en el punto B a la zona de tensión máxima que es un poco más alta que la de su competidor (el punto K), pero lo importante es comparar la diferencia de deformación de uno y otro, y como el área de la curva aumenta con las fibras y por lo tanto la tenacidad.

Antes de llegar al punto de tensión máxima los dos hormigones se comportan más o menos igual, pero al pasar el punto de esfuerzo máximo para el que está preparado el hormigón se observa la diferencia de amplitud en la deformación. Lo que ocurre es que al llegar la tensión máxima del hormigón, este comienza a figurarse y aquí es donde empiezan a actuar las fibras.

En la siguiente imagen podemos apreciar una comparativa de un ensayo a flexotracción de un hormigón sin refuerzo (a la izquierda), otro reforzado con fibras (en la zona central) y otro hormigón armado (a la derecha).

En el hormigón armado cuando empieza a trabajar el acero logra aumentar la tensión y la deformación.

En el hormigón con fibras éstas no llegan a aumentar la tensión pero si la deformación que es mayor incluso que en el hormigón armado, es decir, el hormigón con fibras es el que más se deforma.

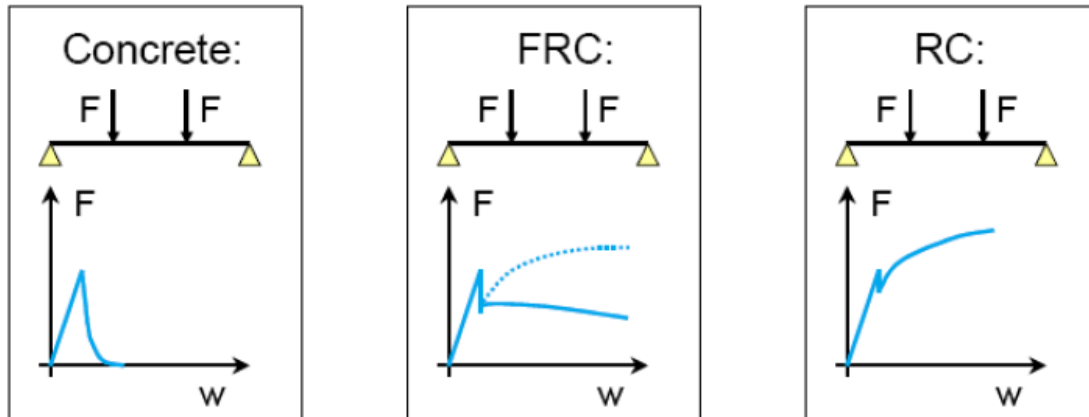


Ilustración 2.11 Curva carga/deformación comparativa.

### 2.9.2. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión de un hormigón convencional y de otro reforzado con fibras no varía demasiado, el incremento de tensión en la rotura es mínimo.

Cuando realizamos la rotura de las probetas en los ensayos a compresión observamos en probetas que se rompen por su zona central formando una doble pirámide unidas en sus vértices. Esto ocurre por que en la zona central se dan unas tensiones a tracción que tiende a que la probeta “explote” en esa zona. En el hormigón con fibras gracias a estas fibras, producen un “atado” en esta zona reforzando y confinando la parte central y dando unas tensiones mayores. Pero como se ha explicado al principio las diferencias no son demasiado pronunciadas. Cuanto menor es el tamaño de las probetas, se obtienen mayores resistencias a compresión, debido a que se acentúa un alineamiento preferente de las fibras. El efecto se hace mucho más sensible a medida que aumenta la longitud de la fibra.

Los aditivos superplastificantes suelen producir incrementos notables de la resistencia a compresión, aunque ello se debe, sobre todo, a la disminución de la porosidad de la matriz y al incremento de la adherencia fibras-matriz generados por la disminución de la relación agua/cemento.



Imagen 2. 10 Roturas de probetas a compresión

### 2.9.3. Fluencia

La fluencia se define como el incremento de deformación que sufre el hormigón cuando está sometido a una tensión constante.

Cuando hablamos de fluencia en un material nos referimos a la deformación plástica que se produce cuando se sobrepasa su límite elástico o simplemente por una carga que perdura en el tiempo. Estas deformaciones no se recuperan y quedan para siempre en el material.

En el hormigón la deformación va ligada al tiempo, si sometemos al hormigón a un esfuerzo de compresión simple este desarrolla una deformación instantánea. Si la carga no es demasiado grande para superar su límite elástico esta deformación podrá ser recuperable. Pero sin embargo si la carga perdura en el tiempo las deformaciones pueden ser remanentes, es decir, no recuperables.

Cuando se produce el secado del hormigón se dan retracciones y disminución de volumen, a esto se denomina fluencia por secado.

La fluencia que se produce sin intercambio de humedad en el ambiente, sino solo por esfuerzos mecánicos se denomina fluencia básica.

La suma de la fluencia básica más la fluencia por secado son la fluencia total del hormigón.

Debemos tener en cuenta que en servicio, raramente la tensión aplicada supera el 40% de la resistencia con lo que se puede admitir una cierta proporcionalidad. Si se supera el límite de proporcionalidad para tensiones relativas de 0,8 a 0,9, la fluencia hace que aumente la deformación total hasta alcanzar la deformación última y así el agotamiento

La deformación por fluencia está influenciada por una gran cantidad de factores entre los que intervienen: los áridos, el cemento, la compactación, la edad del hormigón, el tamaño de la pieza, el nivel de carga a que está sometida, la temperatura y humedad ambiente, etc.

La adición de fibras mejora la fluencia a compresión pero esto se produce de una forma muy sensible. Sin embargo la fluencia a tracción si mejora notablemente ya que, las tensiones de tracción aumentan más lentamente en el hormigón con fibras de acero o poliméricas, con lo que disminuye el riesgo de fisuración que, si se produce, se concreta en un número menor de fisuras. Éstas, además, son de menor anchura y no impiden que siga existiendo una cierta capacidad resistente, incluso en las secciones fisuradas.

La fluencia, lógicamente, sólo tiene lugar en la pasta de cemento y, fundamentalmente, depende de la relación agua/cemento. Cuanto mayor es la resistencia del hormigón, menor fluencia tiene. También los cementos de endurecimiento más rápido producen hormigones de menor fluencia.

El hormigón autocompactante por regla general posee un mayor porcentaje de árido de menor tamaño que el hormigón tradicional. Esto quiere decir que a igualdad de peso en granulometrías menores tenemos más superficie específica y por lo tanto requiere mayor cantidad de pasta. Por este motivo podemos tener en un hormigón autocompactante mayor riesgo de fluencia.

Por otro lado hay que reconocer que la microestructura de un hormigón autocompactante es mejor y más compacta que un hormigón tradicional por lo que esto es un atributo que mejora sus capacidades mecánicas.

Así que concretando se puede decir que en comparativa de un HAC y otro de compactación por cualquier otro método no hay diferencias significativas en lo que la fluencia se refiere.

#### **2.9.4. Fatiga**

La resistencia del hormigón a la fatiga se define como la fracción de la resistencia bajo cargas estáticas que es resistida tras la aplicación de un cierto número de ciclos de carga. Los daños producidos tras la aplicación de cargas cíclicas en el hormigón aumentan si crece el contenido de humedad y la resistencia nominal del hormigón, si disminuye la frecuencia de aplicación de las cargas y si aumenta el rango tensional aplicado.

Las fibras tienen un efecto frente a deformaciones de controlar la fisuración por lo que mejora el efecto de la fatiga. Un hormigón con fibras sometido a un número de ciclos de carga y descarga funciona mejor que un hormigón convencional.

### 2.9.5. Resistencia al impacto

Para un hormigón convencional es lógico pensar que la resistencia al impacto aumenta conforme se incrementa la resistencia a compresión. Pero llegamos a un punto en que conforme se incrementa la resistencia el material es cada vez más frágil por lo que es preciso incrementar su ductilidad, lo que se consigue con la incorporación de fibras.

Dado que el hormigón no es un material totalmente homogéneo por sus componentes es difícil precisar a la perfección como actuará un impacto puntual en una zona concreta. Las fibras logran que la matriz frente a un impacto pueda repartir las cargas de una manera más uniforme y servir como refuerzo ante el impacto haciendo al hormigón más resistente.

Físicamente, la fibra proporciona ductilidad al hormigón, cosa que permite absorber energía del impacto. Además, la resistencia del hormigón con fibras, después de la fisuración, llega a ser un 50 % mayor que en hormigón convencional

### 2.9.6. Módulo de deformación

El módulo de deformación es un parámetro que permite analizar la relación entre la tensión ejercida a un material y su deformación. Generalmente las diferentes fórmulas y estudios para obtener el módulo de deformación suelen estar vinculados con la resistencia a compresión. Un material isótropo el comportamiento a compresión y tracción es el mismo, pero no es el caso del hormigón que es un material anisótropo, esto quiere decir que su comportamiento a compresión (es mucho mayor) no es el mismo que su comportamiento a tracción (mucho menor).

Este tipo de hormigones tienen tres tipos de materiales principales con sus propios módulos elásticos y que por tanto influirán en el módulo final de deformación, estos materiales son la pasta, los áridos y las fibras.

$$E_c = \eta E_f V_f + E_m (1 - V_f)$$

$E_c$  Módulo de deformación del hormigón

$E_f$  Módulo de deformación de las fibras

$E_m$  Módulo deformación matriz

$V_f$  Volumen de las fibras

$\eta$  Coeficiente de eficacia de las fibras (se puede tomar 0,41)

Los hormigones HAC tienen una cantidad de pasta mayor que los convencionales y dado que la pasta tiene un módulo menor que el del árido es lógico pensar que el módulo general sea menor. Pero aquí intervienen más factores en juego como la adherencia entre árido y pasta, el tipo de cemento utilizado, etc.

Para producir un incremento del módulo elástico del conjunto por la incorporación de fibras es necesario distribuir estas homogéneamente en cantidades superiores al 1% y más cercanas al 2% para que estas puedan realizar influencia alguna en el módulo de deformación. Ya que en cantidades cercanas al 1% el módulo de deformación tiene pequeña variación.

## **2.10. Durabilidad del HAC reforzado con fibras**

Se define el eurocódigo 2 en su apartado 4.1.1:

*“Una estructura es durable si a lo largo de su vida prevista, cumple con su función en lo que respecta a servicio, resistencia y estabilidad, sin una pérdida considerable de utilidad y sin un mantenimiento no previsto excesivo”.*

### **2.10.1. Problemas habituales en la durabilidad**

Una estructura no solo tiene que soportar las sollicitaciones mecánicas a las que puedan estar expuestas sino que también deben de diseñarse consecuentemente para que sean duraderas frente al ambiente químico en el que estén expuestas.

Para obtener la durabilidad deseada del hormigón es vital tener una buena estrategia tanto en la elección de las materias primas según el ambiente como la fabricación y correcta puesta en obra.

Uno de los principales riesgos para el hormigón armado es la oxidación de las armaduras. Para ello el oxígeno debe llegar hasta la armadura para que se produzca la reacción de oxidación-reducción en la armadura. Estos procesos provocarán la pérdida de sección de la armadura con el consiguiente riesgo estructural que ello conlleva.

Otro factor a tener en cuenta es el ataque de agentes químicos como cloruros y sulfatos. Para que todos estos procesos se produzcan el hormigón debe tener una permeabilidad a los gases y cuanto menor permeabilidad tenga más durable en el tiempo será.

La armadura al oxidarse aumenta de dos a siete veces su volumen por lo que se crean tensiones en el perímetro de hormigón y se rompen los recubrimientos y zonas cercanas.

Otro riesgo importante para el hormigón es la carbonatación que ocurre debido a que el hormigón al ser permeable a los gases deja pasar al CO<sub>2</sub> que se combina con el hidróxido de calcio libre CaO formando carbonato cálcico CaCO<sub>3</sub> el cual reduce al pasividad del hormigón a 9 dejando desprotegida la armadura.

Básicamente la durabilidad va ligada a la compacidad del hormigón, a mayor compacidad menor permeabilidad, menor red de capilares y poros y por lo tanto mayor durabilidad.

### 2.10.2. Densidad, compacidad y permeabilidad

La densidad de un material es la cantidad de masa en un determinado volumen. Cuanto menor sea el número de poros y de capilares internos mayor será la compacidad y por lo tanto la densidad aumentará.

La permeabilidad es la capacidad del hormigón de dejar pasar un fluido ya sea líquido o gaseoso a través de él. La reducción de poros hace que un material sea más durable en el tiempo al reducir su permeabilidad.

La densidad de un hormigón depende de numerosos factores como puede ser la relación agua/cemento, método de compactación, aire ocluido, tipo de árido, etc.

Con un hormigón convencional tenemos que prestar especial cuidado a la compactación ya que si no eliminamos el aire ocluido que se encuentra en él, las resistencias caen. El aire ocluido en un hormigón tradicional puede llegar hasta el 20% de su volumen y para que nos hagamos una idea de la problemática que esto conlleva diremos que con una cantidad de aire del 5% la resistencias pueden caer hasta en un 20%. Ni que decir tiene que esto también acarrea serios problemas en la durabilidad a los agentes externos.

En un hormigón autocompactante el problema de la compactación lo podemos ahorrar ya que se compacta por sí solo. También tiene una cantidad de aire ocluido que suele estar entre un 1 y 2%, una cantidad mucho más baja. Esto ocasiona que tengamos una pasta con más cristales y menos poros, por lo tanto una microestructura más compacta y más durable.

La permeabilidad y compacidad no cambian en un HAC al añadirle fibras, pero lo que sí cambia es la densidad. Tenemos en cuenta que al añadir fibras estamos cambiando la estructura del hormigón y que hay cierta cantidad de este material por cada metro cúbico que hemos sustituido por fibras, así que como es lógico la densidad va a variar. En el caso de las fibras de acero la densidad aumenta ya que este tiene unos 7,86 Kg/dm<sup>3</sup> mientras que un buen hormigón autocompactante puede estar 2,4 o 2,5 Kg/dm<sup>3</sup> por lo tanto la densidad aumenta. Con las fibras poliméricas ocurre al contrario ya que estas suelen tener densidades menores de 1, por ejemplo las microfibras de poliolefina está en torno a 0,91 Kg/dm<sup>3</sup> por lo que la densidad de la matriz baja. Esto tampoco es un efecto negativo ya que la durabilidad y características mecánicas van más bien relacionadas con la cantidad de aire y por tanto la densidad del mismo.

### **2.10.3. Mejoras en la durabilidad de hormigones autocompactantes y con fibras**

Los hormigones autocompactantes por su fluidez no necesitan de vibrado y se compactan por su propio peso ocupando totalmente el encofrado minimizando al máximo las coqueras y el nivel de porosidad que pudieran tener hormigones más convencionales.

Gracias a los aditivos superfluidificantes podemos tener hormigones con buena trabajabilidad y una relación agua/cemento muy baja. El agua libre, es decir, el agua que no enlaza químicamente se evapora conforme el hormigón se va curando, el agua evaporada deja huecos que se convierten en redes de capilares que serán entradas para elementos nocivos para el hormigón. Al reducir el agua de amasado reducimos el agua libre y por lo tanto la permeabilidad consiguiendo hormigones más compactos y más durables.

Con la adición de fibras en el hormigón mejoramos su resistencia residual y el control de la fisuración incrementando sus características mecánicas. Al reducir tanto las micro como macro fisuras obtendremos un hormigón con menos riesgo de entrada antes agentes nocivos y por lo tanto más durable.

Se han realizado estudios que han concluido que el uso de fibras pese a que no impide que se produzca la patología si que la minoriza y la durabilidad aumenta. Cabe destacar que ante un diseño o planteamiento de un hormigón donde se priorice la durabilidad funcionan mejor las fibras poliméricas que las fibras metálicas al ser las primeras mucho más químicamente inertes.

Otro de los factores a tener en cuenta es la cicatrización del hormigón que se produce cuando las fisuras o grietas son de pequeño tamaño. La cicatrización se produce cuando el CO<sub>2</sub> disuelto en agua pasa por la fisura en el hormigón y se enlaza químicamente con iones de calcio y bicarbonato formando así cristales de carbonato cálcico que sellan y saturan la fisura y acaban por cerrarla. Para que se produzca este proceso las fisuras deben estar controladas (ya no siguen abriéndose) y no deben de ser de gran tamaño. Por ello es importante el control de fisuración que aporta la adición de fibras.

## **2.11. Reacción ante el fuego del hormigón autocompactante reforzado con fibras**

Pese a que el hormigón es un material que funciona relativamente bien al fuego se debe de mejorar y optimizar al máximo la reacción ante el fuego. Cuando se



produce un incendio es vital poder controlar la situación lo máximo posible estructuralmente hablando, para poder así desalojar prolongando el colapso el máximo tiempo posible.

Cuando un hormigón es sometido a altas temperaturas primero empieza por perder el agua que no está enlazada químicamente, es decir, el agua libre y la pasta se deshidrata perdiendo volumen, esto ocurre a una temperatura de unos 100°C . A unos 180°C comienza la deshidratación del silicato cálcico hidratado y empieza a perderse el agua enlazada químicamente. Si la temperatura sigue aumentando a partir de los 500°C los agregados dejan de ser estables y los cambios son irreversibles.

Dado las diferentes conductividades del hormigón y el acero, este último empieza a dilatar creando tensiones en las zonas de unión de ambos materiales perdiéndose la adherencia entre ambos y rompiéndose las zonas más tensionadas.

Cuando el agua del hormigón empieza a evaporarse debe de salir al exterior, pero si se da el caso de que no encuentra una vía de escape se producen presiones y desconchamientos, es lo que se denomina el efecto spalling.

### 2.11.1. El hormigón autocompactante y el efecto spalling

A temperaturas superiores a 100°C el agua de la masa del hormigón que no está enlazada químicamente empieza a evaporarse, el agua pasa a estado gaseoso de vapor con una alta temperatura y presión. Dado a que el agua en estado gaseoso ocupa más volumen que en estado líquido necesita más espacio que la cavidad inicial en la que se encontraba el agua líquida inicialmente, creando presiones, y a su vez estas presiones tensiones en la cavidad. Este vapor de agua debe salir y para ello se sirve de los poros y redes capilares que posee el hormigón, de esta forma se alivian las presiones. En el caso de no encontrar una vía de escape las tensiones que crean la presión del gas acaban por romper el hormigón causando desconchamientos. Esto es lo que se conoce como efecto spalling.

La permeabilidad es un factor fundamental en el efecto spalling, ya que si el hormigón posee mayor número de redes capilares podrá aliviar las presiones del vapor de agua reduciendo la rotura del hormigón. Al contrario que con la durabilidad química aquí si que es conveniente tener mayor índice de poros.

Como ya sabemos el hormigón autocompactante tiene una mayor compacidad que un hormigón convencional por lo que esto se traduce en un menor número de poros. Como hemos comentado antes el tener un índice menor de redes capilares va a causar una mayor dificultad para que el hormigón alivie presiones y expulse el vapor de agua por lo que el efecto spalling se producirá con mayor virulencia obteniendo mayores agrietamientos y roturas.

La permeabilidad es el parámetro principal que influye en la degradación superficial del hormigón. La siguiente figura ilustra la situación en la que la

permeabilidad del hormigón no es suficiente para evitar el desconchamiento o spalling de sus capas bajo el efecto de altas temperaturas: el vapor de agua, proveniente de la evaporación del agua libre o combinada, esta fluye a través del sistema poroso hacia regiones con menor presión. Por una parte, se dirige hacia la superficie exterior y por otra penetra en el interior del hormigón.

En las regiones donde la temperatura es menor ( $T \leq T_{\text{vap}}$ ) el vapor de agua se condensa y acaba formando una capa saturada que actúa como una barrera impermeable frente al flujo de gas. Si la permeabilidad en la zona "seca" no es suficiente como para soportar el aumento continuo de presión, se producirá el desconchamiento de una capa de hormigón.

En el caso de hormigón armado, la eliminación del hormigón superficial puede dejar la

armadura expuesta directamente a las llamas y a altas temperaturas con las consecuencias que ello conlleva en la capacidad resistente del acero y, por tanto, de la estructura.

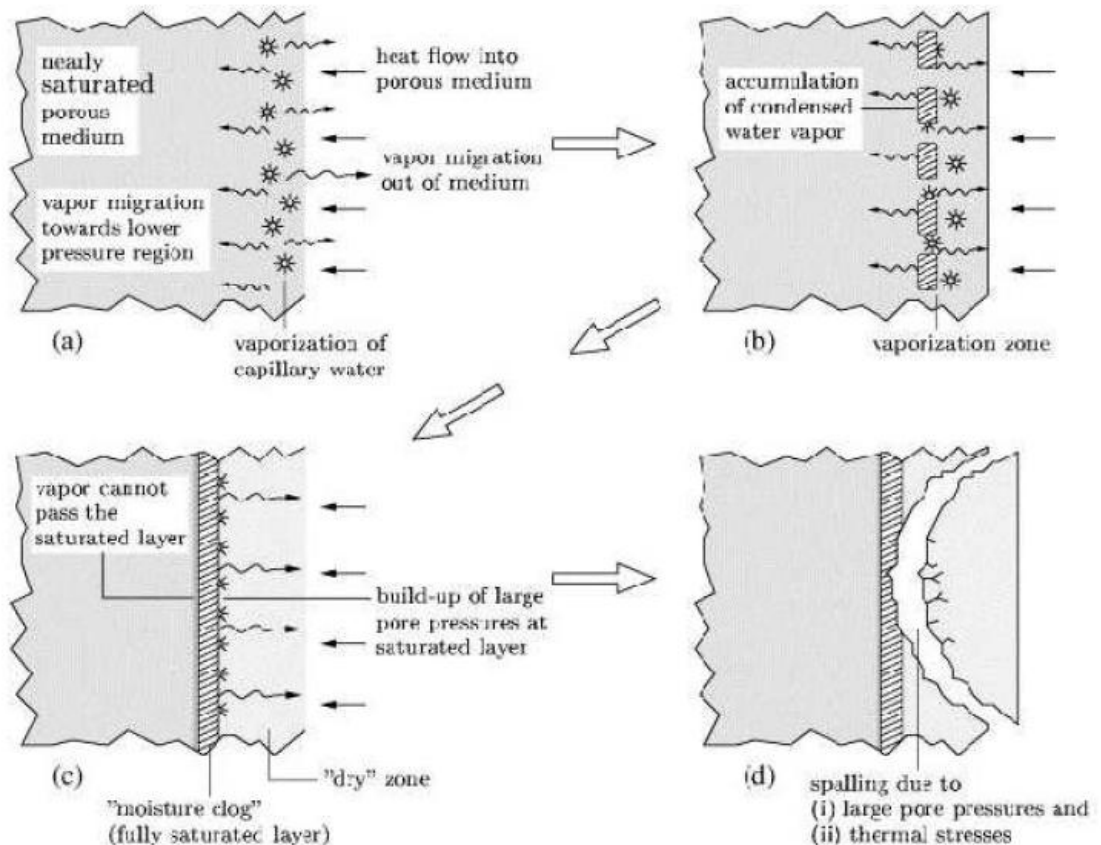


Ilustración 2. 12 Proceso del spalling

La conclusión en base al hormigón autocompactante es que al ser más compacto y menos poroso funciona peor ante altas temperaturas y da un peor resultado a la resistencia al fuego.

### 2.11.2. Efecto ante el fuego de la adición de fibras al hormigón

Al adicionar fibras al HAC vamos a incrementar notablemente su reacción al fuego y para conocer el motivo, tenemos que entender como funciona su estructura a las altas temperaturas.

La incorporación de fibras mejora la deformabilidad residual y la fisuración, por lo tanto a temperaturas iniciales del incendio cuando todavía son bajas retendrá las figuraciones y mejorará la resistencia a deformarse y al colapso. Pero estas no son sus únicas ventajas.

La fibra en el hormigón ocupa un hueco en su volumen que será mayor o menor dependiendo del diámetro y longitud de la misma. Alrededor de la fibra hay multitud de microporos propios de la estructura del hormigón, estos microporos por supuesto son inapreciables a la vista pero microscópicamente están ahí.

La temperatura de fusión de los polímeros es bastante más baja que la del hormigón, dependiendo del polímero esta puede ser más o menos baja pero para poner un ejemplo el polipropileno funde a 160°C. Esto quiere decir que en las temperaturas iniciales del incendio el polímero ya habrá fundido mientras que el hormigón está empezando a experimentar los cambios iniciales que se dan al comienzo del incendio.

Cuando la fibra se funde cambia de estado sólido a líquido de forma que se convierte en un fluido. Como ya hemos mencionado alrededor de la fibra había multitud de microporos que una vez fundido el polímero tenderá a ocupar estos espacios dejando un hueco en la zona que antes ocupaba la fibra.

Los huecos vacíos que quedan donde antes estaba la fibra son idóneos para que el vapor de agua se dirija hacia ellos, perdiendo parte de la presión, por lo que esos huecos funcionan como cámaras de descompresión para el vapor de agua reduciendo notablemente el spalling.

Por este motivo es preferible que para la protección al fuego se utilicen multitud de fibras de diámetro bajo (micro-fibras) que fibras de alto diámetro (macro-fibras), por que a relación de peso con las primeras tendremos muchas más fibras repartidas de forma más homogénea en la pasta proporcionando muchas más cámaras de descompresión.

La siguiente imagen refleja como se funde una fibra polimérica y esta pasa a ocupar los huecos más próximos que tiene alrededor.



Imagen 2. 11 Fibra fundida y difundida en el hormigón

## **2.12. Comportamiento del HAC reforzado con fibras frente a las retracciones**

### **2.12.1. Definición de retracción.**

Durante el proceso de fraguado y endurecimiento al aire, el hormigón contrae su volumen dicho proceso se denomina retracción. El hormigón posee dos tipos de retracción por pérdida de agua: la retracción autógena que se produce por la pérdida de agua consumida en la hidratación del cemento, es decir, se pierde el agua de la pasta, la cual tiene lugar principalmente en las primeras edades, y la retracción por secado, ocurre con la pérdida posterior de agua por evaporación, y que tiene lugar a más largo plazo.

Hay otro tipo de retracción que no tiene nada que ver con el agua del hormigón y es la retracción por carbonatación. Cuando el dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  junto con agua reacciona con el hidróxido cálcico  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  del hormigón acaba formando carbonato cálcico  $\text{CaCO}_3$ . Esto es muy peligroso por bajar la alcalinidad del hormigón y desproteger las armaduras. Este carbonato cálcico (de menor volumen que los productos de hidratación) se deposita en los espacios no solicitados por las tensiones de compresión impuestas por la retracción de secado. Este fenómeno conduce un incremento temporal de la deformabilidad del sistema que provoca una disminución adicional de su volumen aparente.

Se ha comprobando que en la retracción pueden influir tres tipos de agua: el agua libre, con poca o ninguna influencia en las variaciones dimensionales; el agua ligada físicamente, que es la más importante desde el punto de vista de cambios dimensionales, y el agua combinada, que sólo interviene cuando existen condiciones excepcionales de duración y temperatura.

En los primeros días hay que hacer un buen curado para evitar las retracciones en el hormigón ya que este fenómeno puede acarrear graves consecuencias en el material. Cuando se produce un desecado muy rápido y poco periódico del hormigón surgen grietas y fisuras por la disminución de volumen, problema que va acarrear graves consecuencias en la durabilidad dejando una mayor permeabilidad a los elementos nocivos del exterior.

### 2.12.2. Los dos tipos fundamentales de retracción.

- **Retracción plástica**

Se produce cuando el volumen de agua que se evapora en la superficie del elemento hormigonado es mayor que el volumen aportado por exudación, es decir la velocidad de migración del agua de exceso del hormigón que se produce de forma natural es menor que la velocidad de evaporación. Esto quiere decir que se producirá una disminución de volumen con agrietamientos y fisuras superficiales dado que el hormigón todavía no tiene resistencia para oponerse a la formación mecánica de estas fisuras. Se produce en los primeras etapas del hormigonado y se vuelve más crítica con grandes vientos, soleamientos intensos o en elementos en los que predominan grandes superficies.

- **Retracción de secado**

Se produce por la pérdida del agua libre que no se ha absorbido por ninguno de los componentes del hormigón y se encuentra en los capilares. Este tipo de retracción crea grandes problemas lo que es en la estructura interna y está muy influenciada por el tipo de cemento y la cantidad de la pasta. Esta retracción se da en etapas más adelantadas que la retracción plástica.

### 2.12.3. Algunos factores influyentes en la retracción

- El cemento: Según la finura de molido y las resistencias iniciales del mismo demandará mayor o menor cantidad de cemento y ofrecerá mayor o menor calor de hidratación. A mayor cantidad de cemento, mayor calor de hidratación y mayores retracciones.

- Relación agua/cemento: A mayor cantidad de agua en el amasado mayor riesgo de retracciones ya que tendremos mayor cantidad de agua libre no enlazada químicamente.
- Relación árido/pasta: El árido no tiene retracciones, lo que verdaderamente retrae es la pasta por que es donde se encuentra el agua. A mayor cantidad de pasta mayores riesgos de retracción.
- Superficie del elemento al exterior: Si el elemento a hormigonar tiene una mayor superficie al exterior favorecerá la evaporación del agua al medio provocando una desecación más prematura si es algo que no se cuida. Por ello los principales problemas se dan en elementos en los que predominan una superficie como muros, forjados , etc.
- Armado de retracción: Un hormigón con un armado para retracciones puede llegar a tener hasta un 80% menos de riesgo de patologías de este tipo. La retracción no es una fuerza sino una deformación impuesta, que provocará tensiones de tracción y por consiguiente, fisuras, únicamente en el caso en que se encuentre impedido el libre acortamiento del hormigón, por ello, tiene tanta más influencia cuanto más rígida es una estructura. El armado retiene estas tensiones ya que el hormigón en sus primeros momentos no puede por si mismo.

Aquí en esta imagen podemos observar las típicas grietas en forma de piel de cocodrilo de la retracción.



#### 2.12.4. Comportamiento del HAC reforzado con fibras en la retracción

La retracción de un hormigón autocompactante es muy similar a la de un hormigón convencional. El autocompactante tiene mayor cantidad de pasta y menor cantidad de árido grueso por lo que en ese aspecto su retracción plástica será mayor que la de un hormigón convencional. Pero los nuevos aditivos plastificantes permiten tener una buena docilidad con una relación agua/cemento más baja. Esto quiere decir que tenemos menos agua de amasado que posteriormente quedaría libre intensificando las retracciones. Realmente se puede decir que un fenómeno se complementa con el otro pero habría que analizar más factores como el tipo de cemento, calor de hidratación, estado del medio de hormigonado, etc.

En los primeros momentos posteriores al hormigonado son los más peligrosos y los que más riesgo se comprende. El hormigón pierde agua y esto se traduce con una disminución de su volumen, esta disminución provoca tensiones que el hormigón en edades tan tempranas no puede absorber. En el caso de disponer un hormigón reforzado con fibras estas le confieren la resistencia necesaria para poder absorber estas tensiones deteniendo la fisuración. Por lo tanto es altamente aconsejable el uso de fibras para elementos superficiales como soleras, losas, etc donde tenemos un alto riesgo de retracción.

## **2.13. Ventajas e inconvenientes del HAC reforzado con fibras**

### **2.13.1. Mejoras en la puesta en obra**

- Reducción de la mano de obra y equipos necesarios debido a la elevada trabajabilidad que posee durante su colocación.
- Compactación adecuada del hormigón, es decir, se evitan los problemas de una vibración inadecuada y es independiente de la formación y experiencia de los operarios.
- Reducción del ruido debido a la eliminación de la vibración.
- Reducción del plazo de ejecución debido a su alta productividad.
- Facilita el hormigonado de estructuras más complejas o densamente armadas creando una mayor disposición de puntos de hormigonado. De esta manera se pueden diseñar elementos arquitectónicos y estructurales más complejos.
- Mejores acabados
- Eliminación de la malla, aumenta el rendimiento
- Permite menor adición de agua

### **2.13.2. Mejoras de capacidades mecánicas y durabilidad**

- Aumenta ductilidad-tenacidad
- Aumenta la resistencia a impacto
- Aumenta la resistencia a edad temprana

- Aumenta la resistencia ante cargas repetitivas y vibratorias
- Aumenta la resistencia al fuego
- Aumenta resistencia a la abrasión
- Aumenta la durabilidad del hormigón
- Aumenta moderadamente la resistencia a la compresión
- Aumenta moderadamente la resistencia a la flexión
- Aumenta la ductilidad
- Disminuye la permeabilidad y la absorción de agua
- Disminuye el riesgo de desprendimiento explosivo al fuego (spalling)
- Fisuración controlada
- Inhibe las grietas por retracción
- Impide y controla la formación de grietas en edades tempranas y superiores

### **2.13.3. Mejoras de economía**

- Reduce el costo de mano de obra y almacenaje
- Son necesarios menores espesores en su diseño por lo tanto menores volúmenes de hormigón
- Es más rentable cuando se considera el coste total de la obra
- En el sector de la prefabricación, además de las ventajas citadas anteriormente, existen otras como el aumento de la vida útil de los moldes debido a la ausencia de vibración que es el principal factor de desgaste de los mismos, pudiéndose usar moldes más ligeros y reducción de los gastos de mantenimiento.



#### 2.13.4. Inconvenientes

- Mayor precio del producto inicialmente, aunque luego haya que barajar otros factores como la reducción de mano de obra, para algunos constructores y usuarios este puede ser ya un motivo inicial para no usarlo.
- Si el árido del autocompactante tiene una granulometría muy baja tiene peor resistencia a cortante que un hormigón tradicional con un árido de mayor granulometría, independientemente de la adición de fibras.
- Las fibras pueden crear problemas en el amasado formando erizos y reduciendo la trabajabilidad por lo que necesitamos una mayor potencia de amasado.
- La dosificación y fabricación tiene que ser mucho más cuidada ya que pequeñas variaciones de agua pueden crear serios problemas, los autocompactantes son hormigones menos estables que los tradicionales.
- Falta de conocimiento de este material para muchos profesionales en su caracterización lo que puede crear problemas en el cálculo por ejemplo.
- Precaución con la utilización con la fibra de vidrio ante el álcalis del hormigón ya que la fibra se degrada.
- Precaución con la fibra metálica en el caso de que quede vista al exterior ya que puede oxidarse en medios muy agresivos con los problemas que ello pudiera causar, sobre todo en el aspecto estético.
- Precaución en el amasado de la fibra polimérica, dado que estas tienen una densidad menor de 1 pueden flotar en el agua. En un hormigón autocompactante esto puede crear problemas en el amasado si no está dosificado correctamente o hubiera alguna pequeña exudación, provocando que las fibras no queden distribuidas.

## **2.14. Aplicaciones, estado actual y ejemplos**

Dado las ventajas de la buena trabajabilidad del hormigón autocompactante y las buenas prestaciones que nos ofrecen las fibras se puede decir que es un material con multitud de posibilidades y con unas buenas garantías. Actualmente no está muy extendido este tipo de hormigones, sobre todo en España, y mucho menos cuando salimos del sector de la obra civil que es donde se desarrollan los primeros avances en este campo.

Uno de los problemas de este material es, que pese a que el hormigón con fibras y el autocompactante llevan estudiándose durante décadas no se han realizado muchos proyectos uniendo estas dos tecnologías. Este tipo de hormigones todavía no están lo suficientemente asentados de forma que hay un desconcierto generalizado para su uso, prescripciones y cálculo.

Algunas de las aplicaciones son:

- Pavimentos y firmes: Tanto para firmes de carreteras en obra civil como soleras y losas en edificación por ejemplo. La ductilidad que ofrecen las fibras y el buen funcionamiento que ofrecen contra las patologías en las retracciones, hacen que sea un material muy apto para el uso de elementos superficiales sin necesidad de poner armado de retracciones.
- Prefabricados de elementos esbeltos: Para el prefabricado de elementos laminares tales como cerramientos o piezas para cubierta es tremendamente útil. Este tipo de elementos necesitan un hormigón que pueda absorber las deformaciones por la esbeltez.
- Refuerzo estructural: Aunque todavía no se ha podido demostrar que las fibras puedan sustituir completamente la armadura si que está comprobado que puedan ofrecer un buen refuerzo y sustituir parte del acero de cálculo. Según la EHE 08 para poder utilizar el refuerzo de fibras en el cálculo es necesario aportar 20kg por metro cúbico de fibras metálicas como mínimo y como recomendable 1% del volumen como mínimo.
- Componentes que soportan cargas y deformaciones elevadas: Elementos expuestos a sollicitaciones de carga y deformación superiores como pueden ser pilotes, protecciones de túneles y estructuras diseñadas para soportar terremotos y explosiones.
- Prefabricados: Elementos de prefabricación como tuberías con grandes deformaciones de uso, celosías, vigas artesas, jardineras, alfeizares, aplacados de fachadas, aplacados de pavimentos, etc.
- Otros usos: Homigón proyectado, capas de compresión para forjados, recrecidos de suelos, revocos de fachadas, morteros especiales...

### 2.14.1. Algunas aplicaciones realizadas:

#### Carreteras de Vía Favencia de Barcelona

En noviembre de 1982 se construye en España la primera obra de carreteras con HRFA, realizándose en la Vía Favencia de Barcelona y consistiendo en la pavimentación de dos tableros de puente. El pavimento estaba constituido por una primera capa de hormigón ligero, quedando disponible por razones de cota un espesor de 7cm, para la capa de rodadura.

Debido a la dificultad de realizar este firme con hormigón convencional se recurrió al empleo de un hormigón con incorporación de fibras de acero. El hormigón era prácticamente autonivelante, no obstante, la colocación en obra pudo realizarse con una máquina entendedora de encofrado deslizante. La superficie hormigonada fue de 4.000 metros cuadrados.

El hormigón tenía a 28 días una resistencia a compresión de 35Mpa y de 6Mpa a flexotracción, correspondiendo este valor a la tensión de primera fisura.

El comportamiento de este pavimento ha sido muy bueno a pesar de que al año siguiente de su construcción (1983) ya registraba una intensidad de tráfico, media diaria, de 42.280 vehículos, de los cuales 7% correspondían a tráfico pesado. (F. Cánovas, ACHE, 2000)

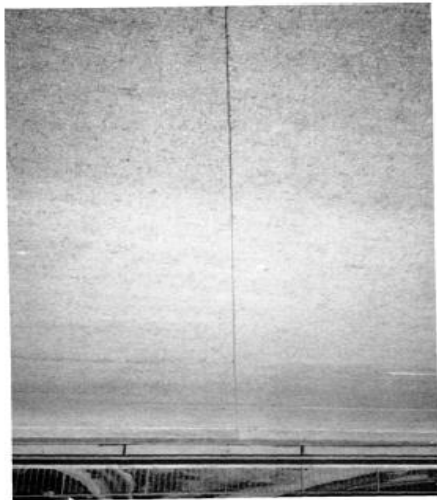


Imagen 2. 12 Pavimento tablero en puentes Vía falencia (Barcelona)

#### Bóveda del oceanografic en Valencia

Durante los meses de junio y julio del año 2000, se efectuó la bóveda del Parque Oceanográfico de Valencia. Se trata de una bóveda nervada, compuesta por ocho lóbulos con simetría radial. Cada lóbulo y su opuesto forman parte de un paraboloide hiperbólico cuyos ejes X e Y están contenidos en un plano horizontal, forman un ángulo de 22,5º y cuyo origen se encuentra en el centro de la cubierta.

Para ejecutar la bóveda se empleó hormigón proyectado por vía seca, para la ejecución de la cubierta y por la dificultad de lograr con una puesta en obra tradicional el grado adecuado de compacidad del hormigón en aquellas zonas con una inclinación importante.

El tipo de fibra empleado fue Dramix RC 80/35 BN, (Long.: 35mm. Díam: 0,45mm), con una dosificación de 50kg/m con una armadura de  $\phi 8$ , con 15cm (disposición hexagonal) Espesor lámina en clave 6cm. (F. Cánovas, ACHE, 2000)

Cemento I 42,5 R	400kg
Agua	180l.
Grava (7-12)	00kg
Arena de machaqueo	1.200kg
Superplastificante (melamina)	3,5kg (1,2%)
Fibras de acero	50kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 2. 10 Dosificación de la gunita del Oceanografic**



Imagen 2. 13 Bóveda del Oceanografic

### Túneles de Montblanc (Tarragona)

Se trata de 3 túneles de vía doble (Camp Magré, Lilla y Puig Cabrer) en el tramo de AVE entre Lleida y Tarragona, con una longitud total de 3.046 m y diámetros de 12, 13 y 14 metros. Para su realización se eligió una forma circular por ser la mejor a efectos de su capacidad resistente y la más adecuada al no ser posible saber a priori que zonas se verían afectadas por los hinchamientos por las características del terreno.

La ejecución se puede dividir en dos fases bien diferenciadas primero la construcción de la contrabóveda circular y segundo la del revestimiento en bóveda.

Como paso previo a la excavación de la contrabóveda fue necesario asegurar el apoyo de los revestimientos o sostenimientos preexistentes, de modo que no se vieses afectados por las operaciones de excavación mientras durasen éstas. Para ello se anclaron al terreno dichos elementos mediante bulones, ejecutados en los hastiales.

Una vez asegurados los revestimientos, se comenzaron las operaciones de excavación, siempre mediante martillo neumático o rozadora pese a la dureza del material, con el fin de no provocar mayor fracturación en el macizo.

Inmediatamente después de concluido el refino se procedía al sellado del tramo excavado mediante hormigón proyectado con fibras. Esta capa tiene la función de evitar cambios de humedad en el macizo, que podrían provocar alteraciones en la roca, además de sostener la excavación realizada. Posteriormente se desarrollo el armado y ferrallado de las bóvedas. Dado la densidad del armado fue necesario el uso de un hormigón autocompactante.

Tanto el uso del HAC con fibras para estabilizar el terreno como el hormigonado de las bóvedas con hormigón autocompactante fue decisivo para la ejecución de esta obra.



Imagen 2. 14 Hormigonado de la contraboveda.

## **2.15. Comportamiento a cortante en vigas de HAC reforzado con fibras**

### **2.15.1. Comportamiento general frente a cortante**

El comportamiento a cortante de una viga de hormigón es más complejo de lo que a priori puede parecer. Multitud de factores entran en juego como la forma de la sección, su variación a lo largo de la pieza, la esbeltez de ésta, la disposición de las armaduras longitudinales y transversales, la adherencia entre el acero y el hormigón, el tipo y la situación de las cargas y de los apoyos, etc.

Cuando la viga no está todavía fisurada al someterse una carga a cortante las trayectorias de tensión principales pueden preverse y siguen un orden y formando un efecto de arco, pero cuando la viga comienza a figurarse las trayectorias de las tensiones varían.

La fisuración por flexión que precede la fisuración por cortante hace variar el campo elástico de tensiones hasta tal extremo que la fisuración diagonal tiene lugar para una tensión principal de tracción de apenas un tercio de la tensión que predeciría un modelo elástico del hormigón (MacGregor and Bartlett, 2000).

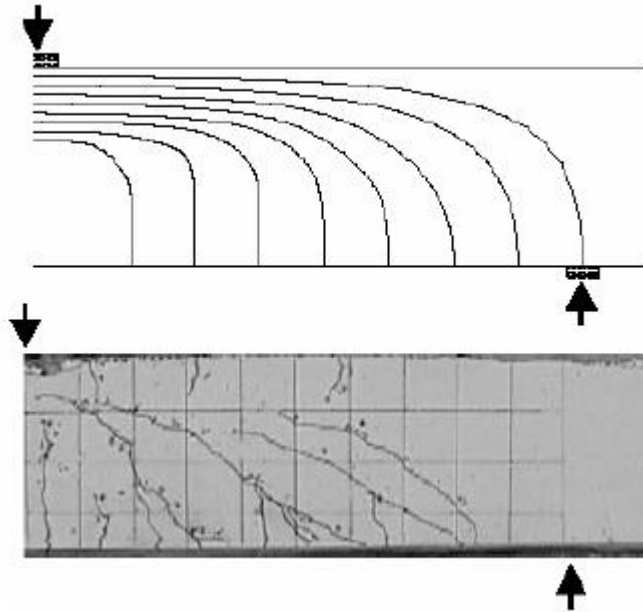


Imagen 2. 15 Trayectorias de la tensión principal de compresión en una viga no fisurada

El efecto de las tensiones tangenciales, creadas por el cortante, es el de inclinar las tensiones principales de tracción con respecto a la directriz de la pieza. Para cargas reducidas, estas tensiones de tracción no superan la resistencia a tracción del hormigón, y es fácil calcular el estado tensional. Cuando aumentan las cargas el hormigón se fisura y se produce un complejo reajuste de tensiones entre hormigón y

armaduras, que varía conforme la fisuración aumenta hasta llegar a la rotura. Esta puede producirse de diversas formas, que se representan esquemáticamente, para el caso de una viga esbelta, en la ilustración siguiente:

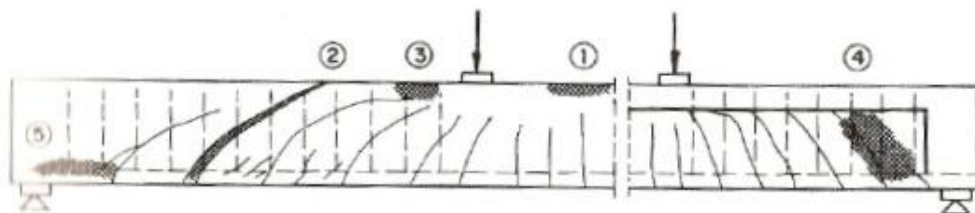


Ilustración 2. 13 Tipos de rotura

1. **Rotura por flexión pura**, que se produce, en vigas armadas con cuantías normales, al alcanzarse una deformación excesiva de la armadura de tracción, que origina una subida de la fibra neutra hasta que el hormigón comprimido es incapaz de equilibrar las tracciones. Si la cuantía de la armadura en tracción es alta puede romperse el hormigón sin que la armadura llegue a alcanzar su límite elástico.

2. **Rotura por cortante**, producida por las fisuras inclinadas debidas a las tensiones principales de tracción. Cuando las armaduras transversales de la viga son claramente insuficientes, la zona comprimida de hormigón debe resistir una parte importante del cortante; si éste crece, la fisura progresa hasta el borde superior.

3. **Rotura por flexión y cortante**. Si las armaduras transversales de la viga son ligeramente insuficientes, las fisuras suben más en la zona sometida a flexión y cortante que en la zona en flexión pura, produciéndose una disminución de la capacidad resistente del hormigón comprimido que puede llevar a la rotura aunque el momento no sea máximo.

4. **Rotura por compresión del alma**. Puede producirse en las secciones en T o doble T de alma delgada si las tensiones principales de compresión llegan a superar la resistencia del hormigón.

5. **Rotura por deslizamiento de las armaduras**. Las tensiones de la armadura en tracción crecen del apoyo hacia el centro de la viga. Este aumento, proporcional al esfuerzo cortante, se consigue gracias a las tensiones de adherencia entre hormigón y acero. Si el cortante aumenta y las armaduras longitudinales no están suficientemente ancladas, puede producirse su deslizamiento en las proximidades del apoyo, donde el cortante es máximo.



### 2.15.2. Comportamiento del HAC sin fibras frente a cortante

Un hormigón autocompactante para su correcta docilidad debe de llevar por norma general una cantidad de árido grueso mucho menor que un hormigón convencional. Pero sin embargo gracias a las nuevas tecnologías en aditivos es posible hacer hormigones con la misma dosificación de árido si las condiciones de trabajabilidad no son tan exigentes.

Los áridos de mayor tamaño son fundamentales para los esfuerzos a cortante ya que a mayor cantidad y mayor tamaño máximo del árido la resistencia del elemento a cortante mejora. Esto tiene una explicación y es que los áridos crean un efecto engranaje unos con otros de manera que ante un esfuerzo cortante ofrecen un mayor resistencia. Cuando tenemos áridos de un tamaño menor además de que el incremento de la pasta es mayor la trabazón entre ellos es menor por lo que resistirá menos tensiones de corte.

Si bien es cierto que haciendo la comparativa con un hormigón convencional el hormigón autocompactante tiene una mejor microestructura y logra desarrollar resistencias mayores a los 28 días.

Estos hechos mencionados se cumplen cuando el árido es de un tamaño menor que el que suele utilizarse en hormigones convencionales, pero en el caso de que el hormigón autocompactante tenga la misma dosificación que el hormigón tradicional con el que se comparase los resultados serán muy similares, e incluso mayores para el autocompactante por su desarrollo de resistencias mayores.

Esto quiere decir que el efecto engranaje es un efecto exclusivo de los áridos independientemente del tipo de compactación pero si bien es cierto que los HAC por norma general suelen trabajar con granulometrías pequeñas.

En el caso de que estemos estudiando elementos sometidos a cortante con un armado adecuado transversal para este tipo de solicitaciones, la diferencia de tensiones que pueden soportar un hormigón convencional y otro autocompactante son muy similares o casi idénticas ya que el elemento que trabaja realmente es el acero y los áridos del hormigón pierden importancia.

### 2.15.3. Comportamiento del HAC reforzado con fibras frente a cortante

Las fibras son adicionadas al hormigón para mejorar su ductilidad y el control a la fisuración, por lo tanto, el hormigón reforzado con fibras verá incrementado sus comportamientos mecánicos frente a solicitaciones de cortante entre otras. En una viga reforzada con fibras, en rotura, la fuerza de cortante transferida por el alma debido al efecto engranaje de los áridos se incrementa.

Cuando el elemento o la viga esta sometida a tensiones cercanas a su límite tenderá a figurarse, una vez producida la fisura de cortante existen unas tensiones de tracción atravesando la fisura cuya proyección vertical equilibra el cortante que actúa sobre la viga. Estas tensiones de tracción equivalentes al esfuerzo necesario para arrancar las fibras de la matriz de hormigón son las que definen el comportamiento postfisuración del material.

En un hormigón armado en la respuesta a cortante hay que sumar la contribución del hormigón y el papel de los cercos. En un hormigón con fibras habría que sumar además la contribución de las fibras bien sean metálicas o poliméricas.

## **2.16. Orientación de fibras en el hormigón**

La orientación de fibras se puede definir como la acción de determinar la dirección o posición de todas o de un número determinado de fibras dentro de la matriz cementicia o en alguna parte concreta de la misma.

La orientación de las fibras influye en las características del hormigón y por lo tanto es algo que debemos de dominar. Si podemos influir en la distribución de fibras en el hormigón de una manera controlada podemos mejorar sus características al uso para el que ha sido diseñado, por ejemplo, si el elemento en cuestión como una viga, va a trabajar en una dirección nos conviene que las fibras estén orientadas hacia la directriz principal de trabajo y así las tensiones y deformaciones se optimizaran con una mejor distribución de las mismas en la pieza.

### **2.16.1. Flujo de vertido**

Flujo de vertido es el desplazamiento del hormigón al ser depositado en una superficie o encofrado mediante un sistema de vertido que generalmente suele ser por cubilote o por bombeo. El flujo depende de las capacidades reológicas del hormigón y marcará una dirección principal de desplazamiento del hormigón y por lo tanto tendrá una clara influencia de las fibras.

Dado la consistencia de este tipo de hormigones el flujo cobra una gran importancia por que el hormigón es más fluido que un hormigón convencional su flujo será mayor. Cuanto más seco sea un hormigón menor flujo ofrecerá.

La existencia de un flujo durante el vertido hace que las fibras que van mezcladas en la pasta adquieran una significativa orientación en el sentido del flujo. La dirección de vertido, que muchas veces puede coincidir con la dirección del flujo aumentará si cabe en mayor medida en el número final de fibras orientadas en esta dirección.

### 2.16.2. Método de compactación

La forma de compactación en este tipo de hormigones autocompactantes no es necesaria pero vamos a ver a continuación como nos afectaría en un hormigón convencional el cual si que necesita de algún método de compactación externo.

La forma de compactación va a condicionar la dirección de las fibras en la masa según la intensidad y tiempo de compactación. El efecto de la vibración plana mediante mesa de vibrado hará que las fibras roten en planos paralelos a la mesa o a la regla de vibrado, mientras que la compactación mediante vibrador provocará una segregación parcial de la fibra y una acumulación de la misma alrededor de este, disponiéndose de manera tangencial a la circunferencia perimetral del vibrador. Por este motivo el vibrado debe de hacerse con sumo cuidado si no se quiere debilitar la pieza en zonas críticas.

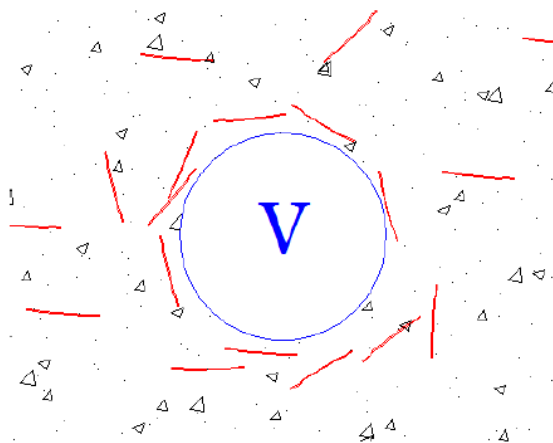


Ilustración 2. 14 Orientación teórica de la fibra alrededor del vibrador

### 2.16.3. Efecto pared

Al verter el hormigón dentro de un molde o encofrado estamos confinando su flujo y reduciendo su escurrimiento debido a las paredes del encofrado ya que si no fuera por ellas por la propia reología del material tendería a extenderse más. Por este motivo ante la imposibilidad y restricción de ciertos movimientos, tienden a orientarse dentro de un plano paralelo a la nombrada superficie en el sentido del vertido. Con esta organización de fibras queda una capa de hormigón que va hacia el exterior provocada por el vertido, por lo tanto no tendremos fibras en la superficie de acabado junto a la cara del encofrado. De esta forma al desencofrar obtendremos un buen acabado liso y sin fibras.

El efecto pared es un fenómeno que combina dos causas de orientación como son la forma del molde o encofrado y el método de vertido.

Existen distintos algoritmos de cálculo, dependiendo de la zona o condición de la pared que se esté tratando tal y como apreciamos en la siguiente tabla:

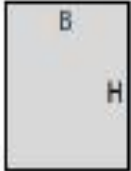
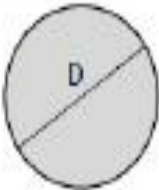
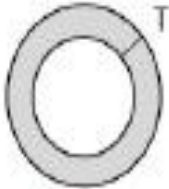
Cross-section		Type of concrete	Increment of $\eta$ due to wall-effects ( $\Delta\eta_w$ )
Geometry	Position		
<u>Rectangular</u>  B = Width H = Height L = Fiber length	Vertical	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L}{B} \times (0.677 - 0.730 \times \eta_0)$
		CC	
	Horizontal or inclined	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L^2}{B \times H} \left[ \frac{B+H}{L} (0.465 - 0.730\eta_0) + 0.533\eta_0 - 0.127 \right]$
		CC	
<u>Circular</u>  D = Diameter L = Fiber length	Vertical	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L' \times (2D - L')}{D^2} (0.677 - 0.730\eta_0)$
		CC	
	Horizontal or inclined	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L' \times (2D - L')}{D^2} (0.465 - 0.730\eta_0)$
		CC	
		$L' = L + \Delta L$ $\Delta L = D \times \left[ 1 - \cos \left( a \sin \left( \frac{L}{D} \right) \right) \right]$	
<u>Hollow-circular</u>  T = Thickness L = Fiber length	Vertical	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L}{T} (0.677 - 0.730\eta_0)$
		CC	
	Horizontal or inclined	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L}{T} (0.465 - 0.730\eta_0)$
		CC	

Tabla 2. 11 Tabla de cálculo de orientación de fibras según el efecto pared

En la siguiente imagen podemos ver la radiografía de un hormigón convencional con un compactado con vibrador de aguja. Vemos como las fibras tienden a disponerse con una orientación aleatoria debido al vibrado y como en la zona marcada con un recuadro tenemos una mayor acumulación de estas. Ello es debido a que justo en esa zona fue donde estaba la aguja del vibrador y podemos fijarnos en que las fibras tienden a dirigirse hacia esa zona sin ningún orden u orientación.

Por lo tanto esto quiere decir que en hormigones convencionales que requieren vibrado, el efecto pared y la orientación de vertido se pierden completamente después del compactado.



Imagen 2. 16 Distribución de fibras en un hormigón convencional

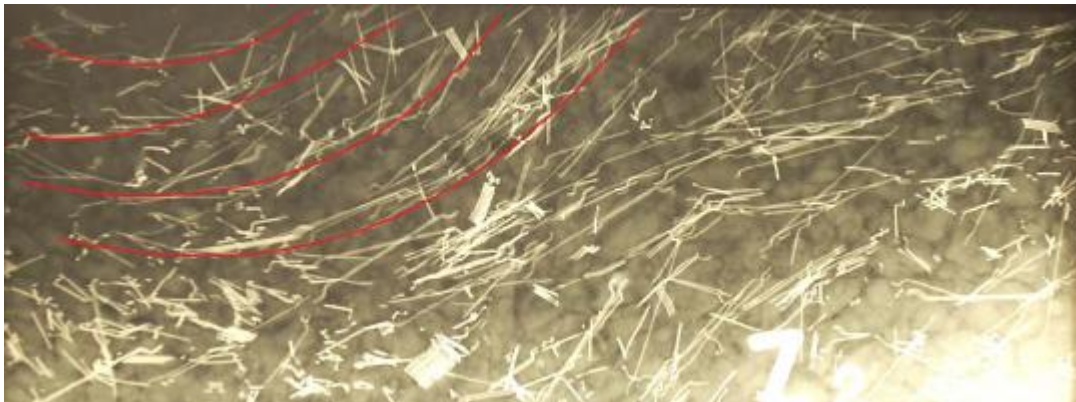
En la siguiente figura vemos la distribución de fibras en un hormigón autocompactante. En este caso comprobamos que sí tenemos una orientación predefinida y hasta incluso podemos predecir cual ha sido la dirección de vertido. Esto ocurre por que al no tener que compactarse, si que se cumple los parámetros de orientación por flujo de vertido y de efecto pared. En la parte superior hay una menor cantidad de fibras por el mencionado efecto pared y observamos como la materia cementante tiende a formar una capa hacia el exterior y las fibras se reordenan hacia el interior, esta es la razón de por que gracias al efecto pared obtenemos un acabado liso en la superficie del encofrado.

El número de fibras que queda ordenado según estos criterios es alrededor del 80% del total de la fibras.



**Imagen 2. 17 Distribución de fibras en un hormigón autocompactante**

En hormigones autocompactantes la fibra tiene la tendencia de formar círculos concéntricos en planos perpendiculares a la dirección del hormigonado, sobretodo en la zona más cercana al inicio del mismo, cuando este se produce mediante vertido lateral y posterior flujo y auto-compactación.



**Imagen 2. 18 Orientación concéntrica de las fibras**

## **2.17. Adherencia fibras-matriz**

### **2.17.1. Comportamiento de adherencia de fibras-matriz**

Después de que el hormigón se haya fisurado al estar sometido a carga es cuando mayor es el efecto de la fibra, pues entonces cosen las fisuras, retrasando y haciendo más dúctil, así, el fenómeno de agotamiento del material compuesto. En este momento la respuesta de la pieza es protagonizada por la resistencia de la fibra y la capacidad de absorción de las mismas.

Para que la fibra pueda absorber las tensiones del hormigón es fundamental que la adherencia entre fibra matriz sea lo máximo posible ya que la resistencia del conjunto es directamente proporcional a la adherencia fibra-matriz.

En 1986 Giaccio demostró que a mayor esbeltez de las fibras conseguimos una adherencia mayor. Por ello es más recomendable para este propósito el uso de fibras de menor diámetro que a relación del mismo peso las encontraremos en mayor número y mejor repartidas en la matriz.

En fibras lisas de sección circular, el incremento de la fuerza  $P$  provoca un desplazamiento del extremo libre de la fibra, que conduce a su despegue progresivo de la matriz a lo largo de la interfase.

Cuando la longitud de despegue se iguala a la longitud  $l$  de la fibra, se moviliza un mecanismo dinámico de arrancamiento, sumándose al desplazamiento del extremo libre el deslizamiento del extremo embebido (Naaman, 1991).

Por tanto, la contribución a la tenacidad de la rama ascendente de la curva carga-deslizamiento es mucho menor que la de la rama descendente, lo que indica la importancia del rozamiento que comienza tras el despegue total de las fibras (Naaman, 1991).

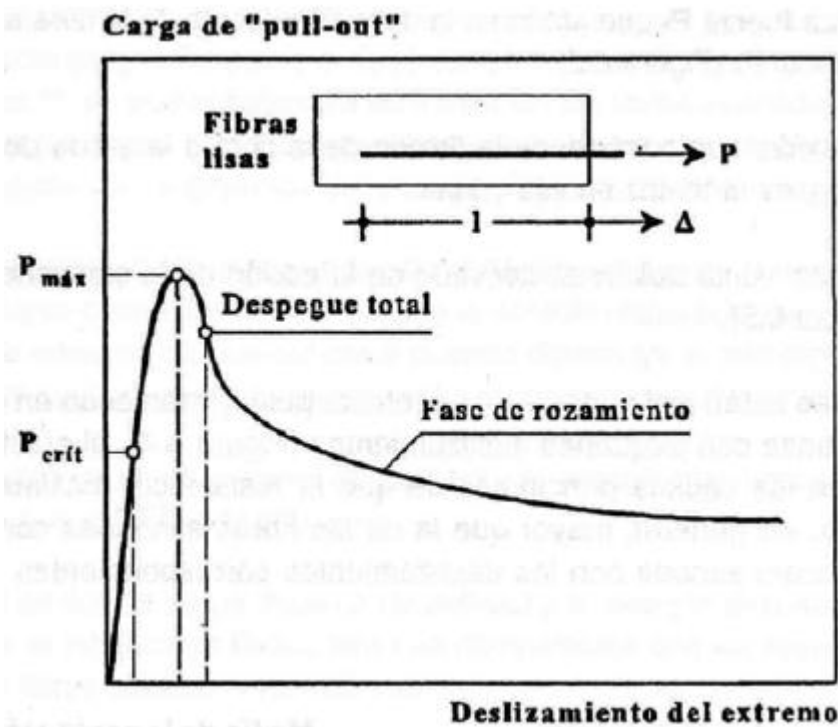


Ilustración 2. 15 Relación carga-deslizamiento en fibras lisas (F. Cánovas, ACHE, 2000)

### 2.17.2. Estudios realizados en la universidad Politécnica de Valencia

El aditivo promotor de adherencia que vamos a estudiar en este proyecto es totalmente novedoso, tanto que ni siquiera está en el mercado y se encuentra en fase de desarrollo. En este apartado vamos a analizar cuales han sido las experiencias pasadas de nuestros compañeros de años anteriores en la Universidad Politécnica de Valencia y así de esta forma poder contrastar resultados.

Este aditivo busca mejorar la adherencia entre la propia fibra polimérica con la matriz cementante. Las fibras usadas son de poliolefina y superficialmente tienen una serie de corrugas para mejorar la adherencia física, pero el aditivo pretende mejorar la adherencia de una forma química.

En estos proyectos se estudiaron como funciona el hormigón con fibras con aditivo promotor de adherencia y sin aditivo promotor. Para ello hicieron distintas amasadas con distintas cantidades de fibras ( 0 kilos, 2 kilos y 4 kilos) y variando el porcentaje de aditivo promotor de adherencia ( 0%, 1% y 2%). De estas amasadas se fabricaron probetas prismáticas de 100x100x400mm para ensayar a flexotracción y posteriormente del ensayo con las dos mitades ensayarlas a compresión.

También se fabricaron probetas cilíndricas para ensayar a compresión de 150mm de diámetro y 300mm de altura.

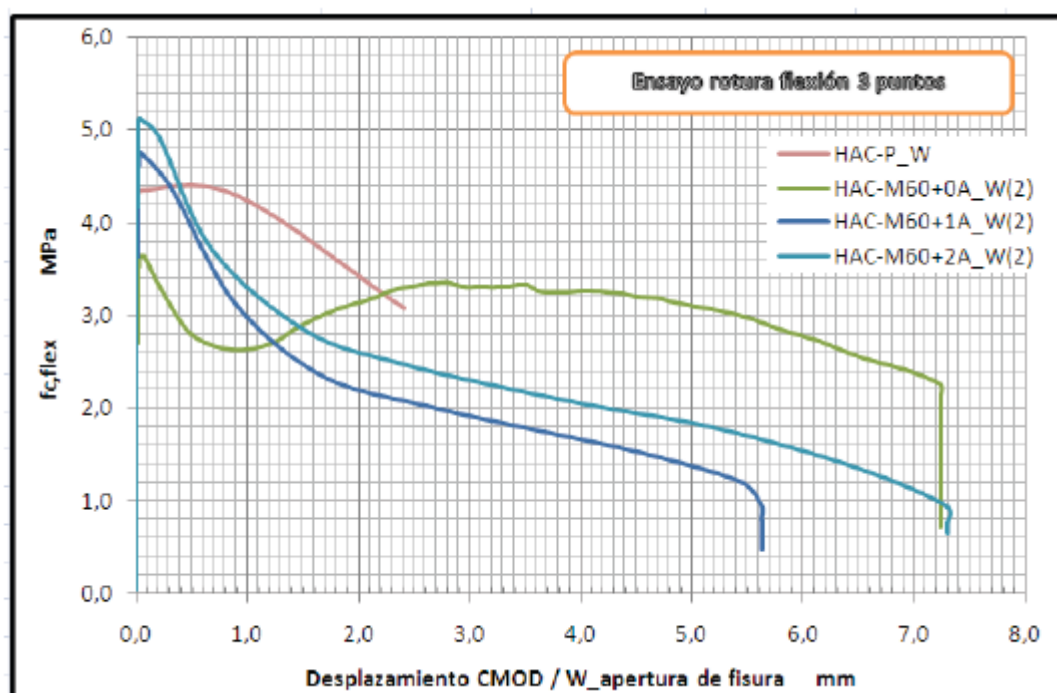


De los ensayos realizados si comparamos un hormigón reforzado con fibras con adherente o sin adherente podemos obtener las siguientes conclusiones:

**Resistencia a compresión:** Aumenta aunque de forma muy leve cosa que es comprensible si recapitamos en la propia caracterización del material. Solo con el hecho de comparar un hormigón con fibras a uno sin fibras en resistencia a compresión vemos que apenas aumenta por la incorporación de fibras, por lo tanto el aditivo adherente no puede tener una influencia realmente notable.

**Resistencia a flexotracción:** Aumenta por la propia mejora de la adherencia entre matriz y superficie de la fibra por lo tanto esto quiere decir que el hormigón tendrá un mejor control de la fisuración y su resistencia a flexotracción se incrementará.

**Deformación residual:** Va íntimamente ligada a la anterior particularidad, dado que incrementamos la adherencia observamos una mayor fuerza para el inicio de la fisuración y esta prosigue mucho más controlada.



En esta gráfica podemos apreciar como la amasada sin fibras HAC-P tiene una deformación mucho menor que las otras amasadas.

Las otras amasadas corresponden a un hormigón con la misma dosificación y cantidad de fibras pero diferentes cantidades de aditivo adherente que van del 0% (HAC-M60+0A), 1% (HAC-M60+1A), 2% (HAC-M60+2A).

Si nos fijamos podemos ver como las gráficas de las amasadas con el aditivo adherente necesitan de una tensión mayor para empezar a fisurar, hecho producido por la mejora de adherencia entre fibra y matriz.

**Trabajabilidad:** En todas las amasadas con fibras se hacía la prueba del ensayo de escurrimiento en hormigón autocompactante o del cono de abrams con hormigón corriente, antes y después de la adición del promotor de adherencia. Los resultados fueron tortas menores en el ensayo de escurrimiento y asientos menores en el cono de abrams por lo que tenemos una disminución de la trabajabilidad. Dado que no conocemos la composición ni reactividad química no podemos precisar una explicación para este efecto. Lo que si se puede decir es que el promotor de adherencia resta docilidad al hormigón.

### **3. PROGRAMA EXPERIMENTAL**



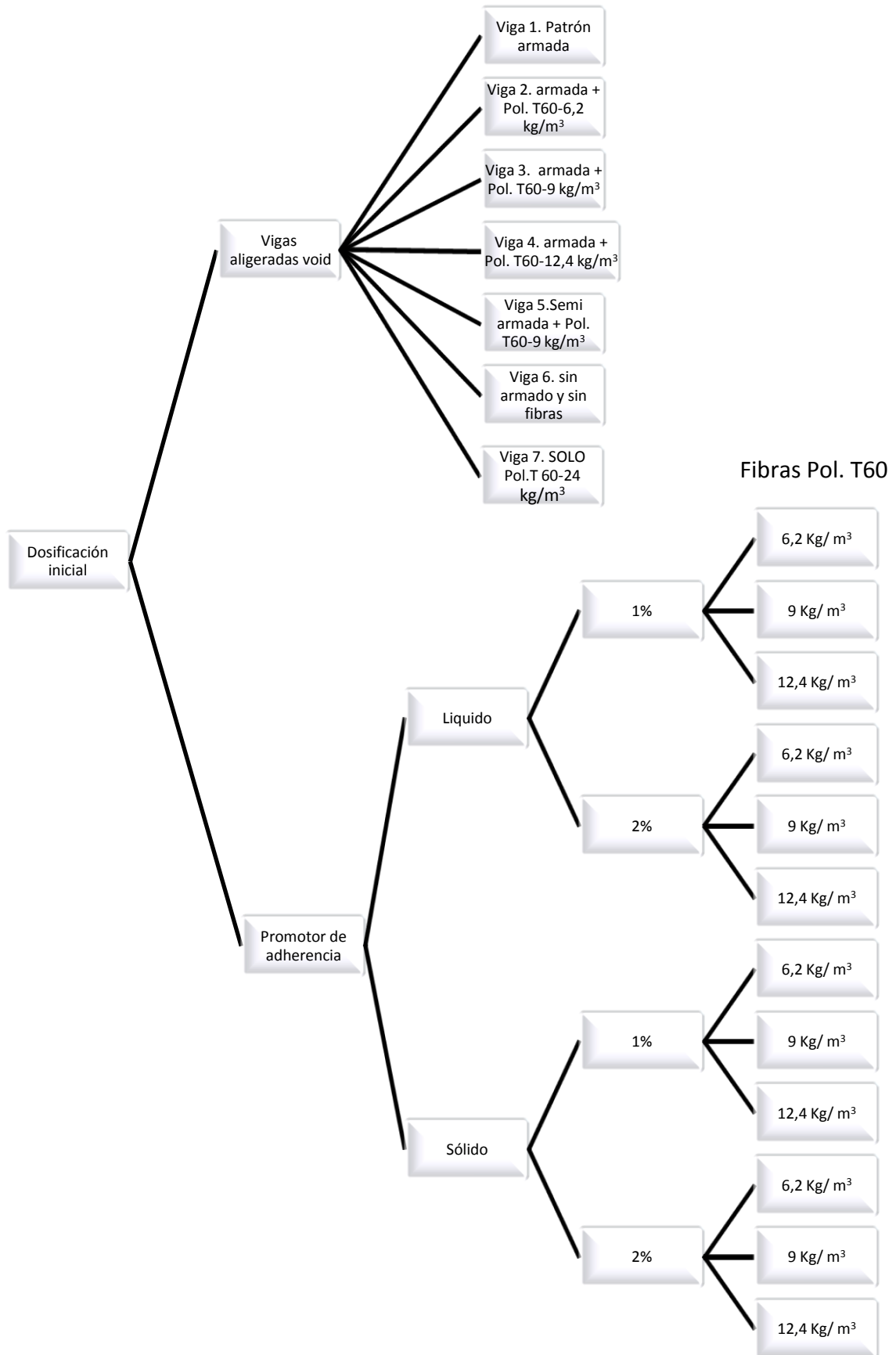
### **3.1 Plan experimental**

El plan experimental de dicho trabajo consiste en el estudio del comportamiento a flexión de una serie de vigas aligeradas de hormigón autocompactante con fibras, y el estudio del comportamiento de fibras poliméricas aditivadas con promotor de adherencia, ensayadas a resistencia flexión y compresión.

En relación al estudio del comportamiento a flexión de vigas aligeradas, se realiza un programa experimental combinando distintas cantidades de fibras poliméricas con diferentes contenidos de armadura, con el conjunto de materias primas del hormigón autocompactante; cemento, finos, agua, áridos 0/2 y 0/4, grava y aditivo superfluidificante.

El estudio del comportamiento de fibras poliméricas aditivado con promotor de adherencia en hormigón autocompactante, se realiza mediante promotor de adherencia líquido y promotor de adherencia sólido, ambos separadamente, y en porcentajes 1% y 2%, ensayando probetas prismáticas a flexión y probetas cilíndricas a compresión.

A continuación se expone un esquema explicativo de dicho plan:



### **3.2 Dosificación inicial hormigón autocompactante con fibras**

En este trabajo partimos de una dosificación conocida, la cual ha sido caracterizada en el trabajo final de carrera por el grupo de trabajo del laboratorio. Dicha dosificación servirá para la realización del hormigón autocompactante con fibras correspondiente al estudio de comportamiento a flexión de vigas aligeradas .

La experiencia en dicho trabajo será el punto de partida para la caracterización del hormigón autocompactante con fibras aditivado con promotor de adherencia, en el cual, añadiremos en porcentaje en peso, 1% y 2% de aditivo promotor adherente en estado liquido y solido, a las cantidades en fibra de  $6,2 \text{ kg/m}^3$  ,  $9 \text{ kg/m}^3$  y  $12,4 \text{ kg/m}^3$ .

La dosificación inicial, en este caso llamada dosificación patrón será:

Dosificación inicial		
Material	Ud.	Cantidad
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	-

**Tabla 3. 1 Dosif. Inicial**

A partir de la cual obtenemos las diferentes dosificaciones para vigas variando el porcentaje de fibra en peso:

Dosificación Vigas ( $\text{kg/m}^3$ )								
Material	Ud.	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4	Viga 5	Viga 6	Viga 7
Cemento	Kg	325	325	325	325	325	325	325
Agua	L	195	195	195	195	195	195	195
Finos	Kg	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
Arena 0/2	Kg	517	517	517	517	517	517	517
Arena 0/4	Kg	757	757	757	757	757	757	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9	553,9	553,9	553,9	553,9	553,9	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225	4,225	4,225	4,225	4,225	4,225	4,225
Fibras T60	Kg	0	6,2	9	12,4	9	0	24
Armado	-	Total	Total	Total	Total	Mitad	Nada	Nada

**Tabla 3. 2 Dosificación Vigas aligeradas**

Y las correspondientes dosificaciones para el estudio del promotor de adherencia:

		Dosif. Promotor Adherencia Liquido (Kg/m <sup>3</sup> )					
		1% Liquido			2% Liquido		
Material	Ud.	6,2 Kg Fibras	9 Kg Fibras	12,4 Kg Fibras	6,2 Kg Fibras	9 Kg Fibras	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325	325	325	325	325	325
Agua	L	195	195	195	195	195	195
Finos	Kg	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
Arena 0/2	Kg	517	517	517	517	517	517
Arena 0/4	Kg	757	757	757	757	757	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9	553,9	553,9	553,9	553,9	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225	4,225	4,225	4,225	4,225	4,225
Fibras T60	Kg	6,2	9	12,4	6,2	9	12,4
Promotor	Kg	3,25	3,25	3,25	6,5	6,5	6,5

Tabla 3. 4 Dosif. Promotor adherencia liquido

		Dosif. Promotor Adherencia Sólido (Kg/m <sup>3</sup> )					
		1% Sólido			2% Sólido		
Material	Ud.	6,2 Kg Fibras	9 Kg Fibras	12,4 Kg Fibras	6,2 Kg Fibras	9 Kg Fibras	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325	325	325	325	325	325
Agua	L	195	195	195	195	195	195
Finos	Kg	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
Arena 0/2	Kg	517	517	517	517	517	517
Arena 0/4	Kg	757	757	757	757	757	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9	553,9	553,9	553,9	553,9	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225	4,225	4,225	4,225	4,225	4,225
Fibras T60	Kg	6,2	9	12,4	6,2	9	12,4
Promotor	Kg	3,25	3,25	3,25	6,5	6,5	6,5

Tabla 3. 3 Dosificación Promotor de adherencia sólido



### 3.3. Viga aligerada

La viga aligerada está diseñada para aguantar los esfuerzos a cortante y flexión, la geometría de la misma, en este caso las aligeraciones, están condicionadas por el armado interior, el cual forma un entramado de triangulaciones simulando una cercha tipo Pratt.



Imagen 3. 1 Viga aligerada

El armado esta condicionado por la posición del ensayo, partiendo en el punto donde se reciben las cargas, el armado de diagonales se dispone con una combinación de ángulos los cuales se hacen coincidir para que la resultante coincida con los apoyo en extremos.

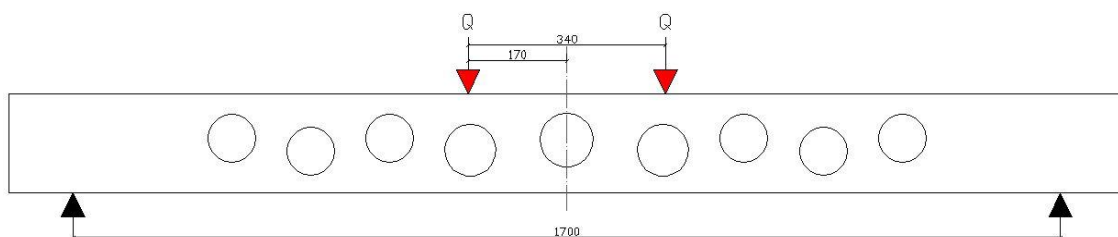


Ilustración 3. 1 Esquema ensayo viga aligerada



Imagen 3. 2 Armado Tipo Viga

Manteniendo el recubrimiento mínimo exigido por EHE-08, en este caso 10mm, en todas las armaduras de la viga, se ejecutan la serie de círculos tangentes a este recubrimiento, resultando así las aligeraciones en la viga de 83mm de diámetro.

### **3.3 Armado de vigas aligeradas**

El armado utilizado en la viga es acero B 500 SD, con los siguientes diámetros:

- Ø8 para barras longitudinales superior e inferior.
- Ø6 para cercos y diagonales.

Las barras longitudinales inferiores tienen una longitud de 1866mm con patilla de anclaje de 120mm



**Imagen 3. 3 Barra arm. inferior**

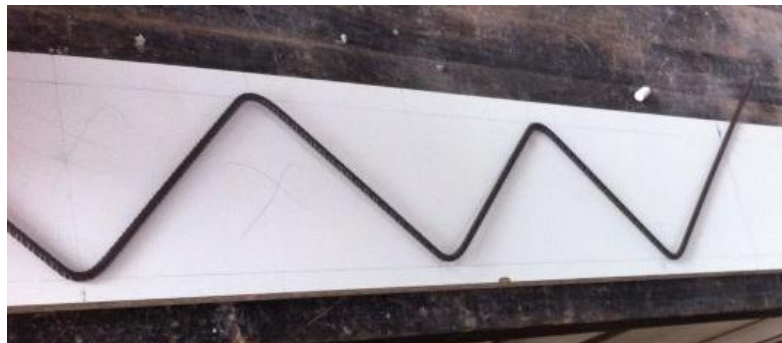
Las barras longitudinales superiores tienen una longitud de 1880mm



**Imagen 3. 4 Armado Cercos**

Los cercos están formados por una barra doblada de diámetro 6mm, se colocan a una separación de 100 mm.

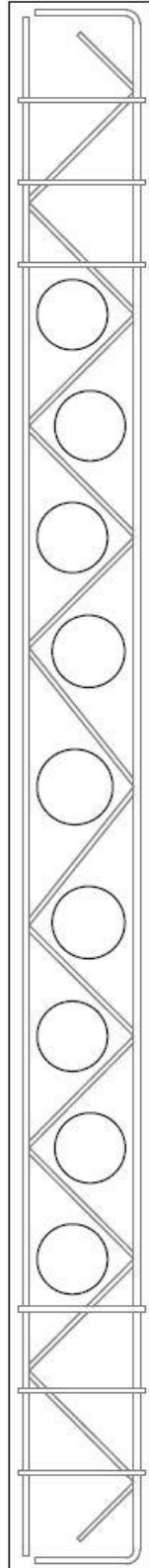
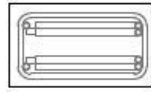
Las dos diagonales están formadas por tres barras de diámetro 6mm, dobladas solapadas longitudinalmente



**Imagen 3. 5 Armado diagonal**

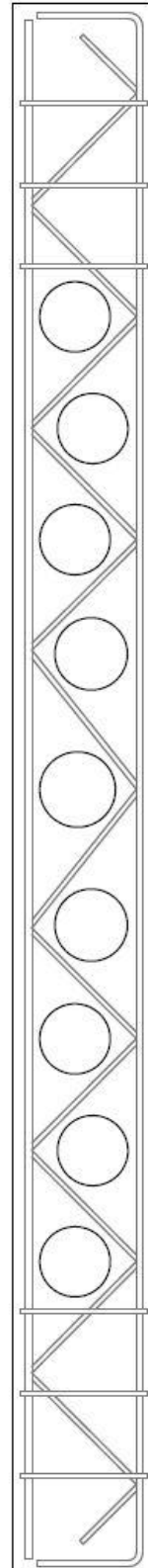
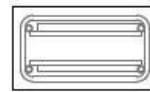
Planos Armado

Viga armada



Arm.Superior: 2 $\phi$ 8  
Estribos 3 $\phi$ 6/10  
Diagonales: 2 $\phi$ 6  
Arm.Inferior: 4 $\phi$ 8

Viga semiarmada



Arm.Superior: 2 $\phi$ 8  
Estribos 3 $\phi$ 6/10  
Diagonales: 2 $\phi$ 6  
Arm.Inferior: 2 $\phi$ 8

### 3.4. Ensayos

#### 3.4.1 Ensayos hormigón estado fresco

Durante la realización de las amasadas, se someterá al hormigón fresco a los ensayos correspondientes en estado fresco, según UNE EN 12350: Estos ensayos serán realizados por este orden:

##### -Ensayo de escurrimiento o SlumpFlow:

Con este ensayo se evalúa la fluidez y la velocidad de flujo del hormigón, en el cual se mide el tiempo que tarda en formar una torta de diámetro de 500mm y el diámetro de la torta final, en el cual también podremos observar si hay exudación o segregación.



Imagen 3. 6 Ensayo escurrimiento

##### -Ensayo de escurrimiento con anillo Japonés

Ensayo con el cual se evalúa, el escurrimiento, el tiempo de torta de 500mm y de la capacidad de fluidez del hormigón autocompactante al paso a través de armaduras, en este caso del anillo japonés.



Imagen 3. 7 Ensayo Anillo Japonés

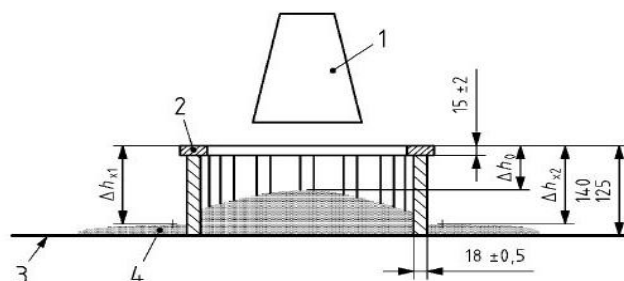


Ilustración 3. 2 Ensayo anillo Japonés

**-Ensayo del embudo en V**

Con este ensayo determinamos la viscosidad y la capacidad de llenado del hormigón autocompactante, midiendo el tiempo que tarda en fluir fuera del embudo en V



Imagen 3. 8 Ensayo Embudo V

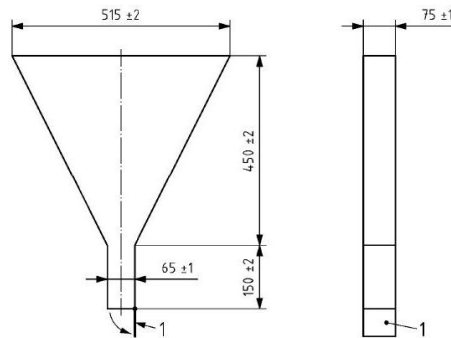


Ilustración 3. 3 Esquema embudo V

Una vez ensayado el hormigón en estado fresco, se rellenará el encofrado de la viga, y a continuación dos probetas cilíndricas y dos probetas prismáticas, las cuales serán desencofradas a las 24 horas y almacenadas en la cámara de curado hasta los 28 días.



Imagen 3. 9 Encofrado y probetas cilíndricas y prismáticas

**-Ensayo contenido aire ocluido**

Con este ensayo determinamos la cantidad de aire ocluido en la amasada de hormigón mediante el método del manómetro.



Imagen 3. 10 Ensayo contenido Aire ocluido

### **3.5. Desmoldado de probetas y vigas**

Transcurridas las 24 horas del hormigonado, el hormigón ya a fraguado y pasa aun estado endurecido, el cual ya puede ser desmoldado del molde o encofrado. Seguimos el procedimiento explicado por los técnicos de laboratorio, y una vez tenemos la probeta extraída del molde, el molde ha de ser limpiado con espátula y estropajos, y pintado con líquido desencofrante para su reutilización.



Imagen 3. 11 Probeta Desmoldada (izquierda) Viga desencofrada (derecha)

### **3.6. Curado de probetas y vigas**

Identificadas las probetas y vigas tras el desmoldado, se llevan a la cámara húmeda de curado, situada en el laboratorio, en el cual estarán hasta completar los 28 días para su respectivo ensayo.



Imagen 3. 12 Cámara de Curado

### **3.7. Ensayos hormigón endurecido**

Transcurridos 28 días de curado en cámara húmeda, las vigas serán sometidas a los ensayos de flexión, en relación a las amasadas de promotor de adherencia, las probetas cilíndricas serán ensayadas a ensayo de deformación y rotura a compresión, y las probetas prismáticas ensayo a rotura a flexión.

#### **-Ensayo deformación**

El ensayo de deformación sirve para obtener el modulo de deformación del hormigón, para este ensayo hemos seguido la norma americana, ANSI C469-65, la cual consiste en aplicar a una probeta cilíndrica de 150x300mm dos ciclos de carga y descarga, con un límite superior de carga del 40% de la resistencia a compresión (la cual es obtenida mediante el ensayo de compresión a cuatro probetas prismáticas de 100x100x100mm)

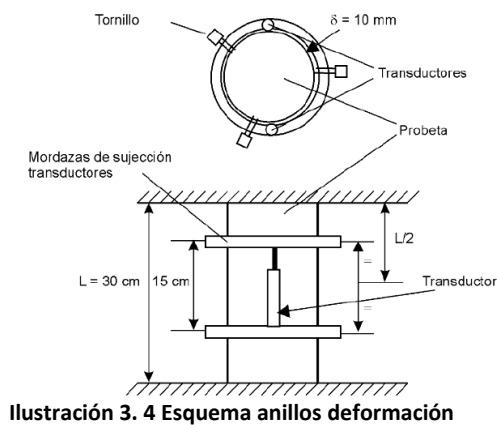


Imagen 3. 13 Ensayo Deformación

#### **-Ensayo de compresión**

El ensayo a compresión se realiza según la norma UNE 12390-3, el cual consiste mediante la maquina de ensayo a compresión, comprimir una probeta cilíndrica 150x300mm ó una probeta prismática 100x100x100 mm hasta su rotura total, registrando la carga alcanzada por la probeta y calculando así la resistencia a compresión del hormigón.

Para la realización del ensayo a probetas prismáticas, se debe colocar un adaptador en la maquina puesto que las probetas de este ensayo son las mitades del ensayo a flexión.



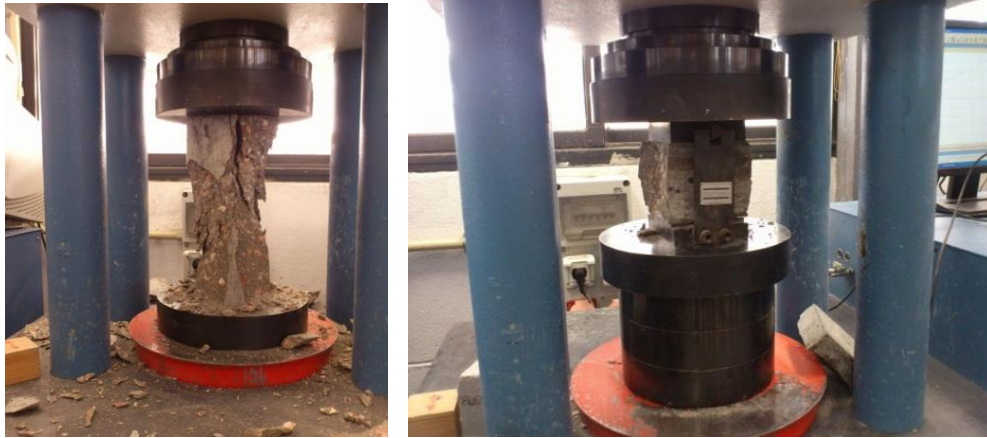


Imagen 3. 14 Ensayo Compresión probeta cilíndrica (izquierda) probeta prismática (derecha)

### -Ensayo de flexión

El ensayo a flexión se realiza según la norma UNE 12390-5, en el cual se somete a una probeta prismática a un momento flector, mediante la maquina de flexión compuesta por un rodillo superior y dos rodillos fijos inferiores, en el cual se registra la carga máxima alcanzada y se calcula la resistencia a flexión.

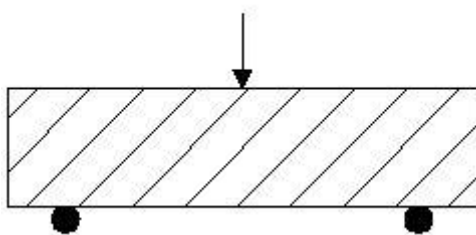


Ilustración 3. 5 Esquema Flexión



Imagen 3. 15 Ensayo flexión probeta prismática



**-Ensayo vigas aligeradas**

El ensayo de vigas aligeradas consiste ensayar a flexión dicha viga hasta la rotura, mediante el apoyo de la viga en dos rodillos inferiores con una luz de 1700mm, y aplicar dos cargas puntuales mediante dos rodillos superiores, separados 170 mm del eje medio de la viga, se colocan 3 captadores para controlar las fisuras y uno más para el control de la flecha en el centro de luz.

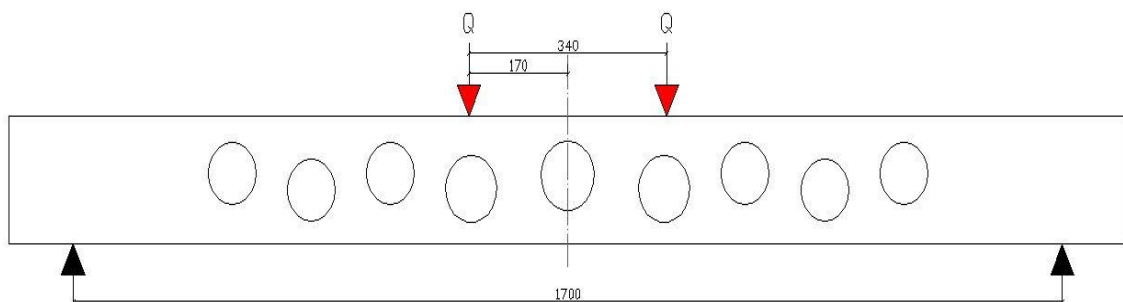


Ilustración 3. 6 Esquema ensayo a flexión viga aligerada



Imagen 3. 16 Ensayo a flexión viga aligerada



## 4. METODOLOGIA DE TRABAJO



### **4.1. Introducción**

El desarrollo del trabajo viene definido por el conocimiento de una serie de materiales y unos procesos de trabajos determinados, comenzando por el estudio granulométrico de los áridos, la elaboración del hormigón autocompactante, ensayos en estado fresco, vertido del hormigón en encofrados vigas y moldes, desencofrado y curado de vigas y probetas, y finalmente los respectivos ensayos de flexión a vigas, flexión y compresión a probetas.

El proceso es desarrollado completamente en el laboratorio de materiales de la escuela de ingenieros de edificación de la universidad politécnica de Valencia.

### **4.2. Materiales empleados para la realización del HAC con fibras en el trabajo**

Descripción de las características y propiedades de los materiales empleados:

#### **-Cemento**

Se emplea un cemento CEM II/B-M (S-L) 42,5R, suministrado en sacos de 25kg por la empresa CEMENTVAL, almacenado en el laboratorio protegido de lluvia y humedad.

El cemento 42,5R es un cemento de alta resistencia inicial, cumpliendo con la normativa RC-08 y EHE-08, el cual siendo CEM II/B-M (S-L) contiene una adición de 6% a 20% de escoria de horno alto y caliza.

Es recomendable un contenido de cemento de 350-450 kg/m<sup>3</sup>, más de 500 kg/m<sup>3</sup> de cemento pueden resultar peligrosos y aumentar la retracción, menos de 350 kg/m<sup>3</sup> sólo resultan adecuados si se incluye otro tipo de fino, como cenizas volantes, puzolanas, etc.

En nuestro caso se utilizan 325kg/m<sup>3</sup> de cementos con finos de caliza (filler).



Imagen 4. 1 Cemento

## -Áridos

Se emplean tres tipos de áridos, se tratan de áridos calizos triturados de distinto tamaño, dos arenas con diámetros 0/2 y 0/4 y una grava con diámetro 4/12,5. Según EHE-08, para hormigones autocompactante es recomendable utilizar tamaños máximos de áridos comprendidos entre 12-20mm, en función de la disposición de armaduras.



Imagen 4. 2 Zona de acopio en laboratorio

Los áridos están almacenados a la intemperie en el espacio exterior del laboratorio, los cuales están protegidos de las inclemencias climatológicas. Cada vez que se termina la jornada de trabajo se recarga en el espacio habilitado dentro del laboratorio, se riegan con manguera y se dejan tapados con lona para que no se pierda humedad en el ambiente.



Imagen 4. 3 Preparación Áridos

En un estudio previo se determina la granulometría de los áridos, y la absorción de agua de cada tipo de árido, para posteriormente calcular la humedad libre que el árido contiene antes de cada amasada, más adelante se explica el cálculo de humedad.



Imagen 4. 4 Desecación árido

### -Filler

Se emplea una adición de filler calizo, estos aumentan la trabajabilidad y evita la exudación del hormigón autocompactante, aumentando su compacidad y durabilidad. En los estudios previos se llega a la conclusión de sustituir cemento por filler, con la finalidad de hacer un hormigón tipo convencional y económico



Imagen 4. 5 Filler calizo

### -Agua

El agua empleada en todo el trabajo es obtenida de la red general de abastecimiento del laboratorio, se considera aceptable para su uso.



Imagen 4. 6 Cubo de agua

## -Aditivo Superplastificante

El aditivo Superplastificante de altas prestaciones y reductor de agua es concretamente Sika Viscocrete 3425, proporcionado por la empresa Sika S.A.U.



Imagen 4. 7 Aditivo Superplastificante líquido

Este aditivo es utilizado como reductor de agua y como plastificante, y dota de unas características favorables al hormigón autocompactante como:

- Mejora la fluidez, la colocación y la compactación
- Reducción de agua, produciendo altas resistencias y gran impermeabilidad
- Disminución de la retracción del hormigón

Según la EHE-08, el uso está limitado al 5% del peso del cemento, en el trabajo se ha empleado un 1,3% en todas las amasadas.

Es almacenado en envase de origen, en lugar seco y fresco, protegido de la exposición solar. Se adjunta ficha técnica en anexo 2

## -Aditivo adherente

El aditivo utilizado se encuentra en fase experimental, el cual es utilizado para el estudio de la mejora de adherencia entre fibras poliméricas y hormigón. En este trabajo se ha utilizado en distintos porcentajes 1% y 2%, en estado líquido y sólido, combinado con distintas cantidades de fibras. No hay constancia de fichas técnicas puesto que está en fase experimental y aún no se comercializa, es suministrado por la empresa Sika.



Imagen 4. 8 Aditivo adherente Sólido



### - Fibras poliméricas

Las fibras utilizadas son fibras poliméricas compuestas de poliolefina, clase T-60, suministrada en sacos por la empresa SIKA S.U.A.



Imagen 4. 9 Fibra Polimérica T 60

Estas fibras aportan una serie de características al hormigón como:

-Incrementan la absorción de energía y la resistencia a tracción, aportando resistencias residuales a flexo-tracción superiores a las mínimas exigidas por la EHE-08

-Evita la formación de fisuras provocadas por la retracción durante el fraguado

-Mejoran la resistencia al impacto y a la abrasión

-Reduce el riesgo de disgregación de la masa

Datos técnicos principales:

Densidad aproximada: 0,91 kg/l

Resistencia a tensión: <400 Mpa

Longitud: 60 mm

Se adjunta ficha técnica en anexo 2

La dosificación utilizada para el trabajo es de 6,2 – 9 – 12,4 - 24 kg/m<sup>3</sup> para diferentes tipos de vigas y estudio de promotor de adherencia.

### - Armadura

La armadura utilizada en el trabajo se compone por acero corrugado B 500 SD de diámetro nominal 8mm y 6mm. Utilizado para la composición de la armadura elaborada de las vigas armadas.

En este caso se utiliza :

Ø8 para barras longitudinales superior e inferior.

Ø6 para cercos y diagonales.

Características del acero:

Barras Ø8

Tipo de acero: B500SD

Diámetro: 8mm

Fabricante: Seixal Siderurgia nacional SA (Portugal)

Muestra 1:

Peso 199,8 g

Longitud 51,4 cm

Sección equivalente: 49,50 mm

Sección Nominal: 50,24 mm

Según Art. 32.1 EHE-08. La sección equivalente  $\geq 95,5\%$  de su sección nominal  $A_s$   
 $real \geq 0,955 A_s \quad 50,24 \text{ mm} \times 0,955 = 47,97 \quad 49,50 > 47,97 \text{ mm} \quad \mathbf{CUMPLE}$

- Altura de corruga = 0,76 mm    Intervalos: 0,03d a 0,15 d = 0,24mm a 1,2mm  
**CUMPLE**

- Separación de corrugas = 5,89 mm    Intervalos: 0,4d a 1,2 d = 3,2mm a 9,6mm  
**CUMPLE**

- Área proyectada de corruga (fr) = 0,045 mm    Intervalos: mayor o igual que 0,045 mm  
**CUMPLE**

- Inclinação de corruga 1 = 39°    Inclinação de corruga 2 = 61°    Intervalos: entre 35 y 75°  
**CUMPLE**

Muestra 2:

Peso 228,4 g

Longitud 58,5 cm

Sección equivalente: 49,73 mm

Sección Nominal: 50,24 mm

Según Art. 32.1 EHE-08. La sección equivalente  $\geq 95,5\%$  de su sección nominal  $A_s$   
 $real \geq 0,955 A_s \quad 50,24 \text{ mm} \times 0,955 = 47,97 \quad 49,73 > 47,97 \text{ mm} \quad \mathbf{CUMPLE}$

- Altura de corruga = 0,73 mm    Intervalos: 0,03d a 0,15 d = 0,24mm a 1,2mm  
**CUMPLE**

- Separación de corrugas = 5,90 mm    Intervalos: 0,4d a 1,2 d = 3,2mm a 9,6mm  
**CUMPLE**

- Área proyectada de corruga (fr) = 0,045 mm    Intervalos: mayor o igual que 0,045 mm  
**CUMPLE**

- Inclinação de corruga 1 = 39°    Inclinação de corruga 2 = 61°    Intervalos: entre 35 y 75°  
**CUMPLE**

## Barras Ø6

Tipo de acero: B500SD

Diámetro: 6mm

Fabricante: Seixal Siderurgia nacional SA (Portugal)

Muestra 1:

Peso 132,3 g

Longitud 61,2 cm

Sección equivalente: 27,53 mm

Sección Nominal: 28,27 mm

Según Art. 32.1 EHE-08. La sección equivalente  $\geq 95,5\%$  de su sección nominal  $A_s$   
 $real \geq 0,955 A_s$   $28,27 \text{ mm} \times 0,955 = 26,99$   $27,53 > 26,99 \text{ mm}$  **CUMPLE**

- Altura de corruga= 0,53 mm Intervalos: 0,03d a 0,15 d= 0,18mm a 0,9mm  
**CUMPLE**

- Separación de corrugas= 5,90 mm Intervalos: 0,4d a 1,2 d= 2,4mm a 7,2mm  
**CUMPLE**

- Área proyectada de corruga (fr) = 0,039 mm Intervalos: mayor o igual que 0,039 mm  
**CUMPLE**

- Inclinação de corruga 1 = 39° Inclinação de corruga 2 = 61° Intervalos: entre 35 y 75°  
**CUMPLE**

Muestra 2:

Peso 138,35g

Longitud 64 cm

Sección equivalente: 27,54 mm

Sección Nominal: 28,27 mm

Según Art. 32.1 EHE-08. La sección equivalente  $\geq 95,5\%$  de su sección nominal  $A_s$   
 $real \geq 0,955 A_s$   $28,27 \text{ mm} \times 0,955 = 26,99$   $27,54 > 26,99 \text{ mm}$  **CUMPLE**

- Altura de corruga= 0,51 mm Intervalos: 0,03d a 0,15 d= 0,18mm a 0,9mm  
**CUMPLE**

- Separación de corrugas= 4,6 mm Intervalos: 0,4d a 1,2 d= 2,4mm a 7,2mm  
**CUMPLE**

- Área proyectada de corruga (fr) = 0,039 mm Intervalos: mayor o igual que 0,039 mm  
**CUMPLE**

- Inclinação de corruga 1 = 39° Inclinação de corruga 2 = 61° Intervalos: entre 35 y 75°  
**CUMPLE**

### **4.3. Equipos y herramientas empleados para la realización del HAC con fibras**

Para la realización del trabajo hemos utilizado una serie de equipos y herramientas con las siguientes características:

#### **-Tamices**

En el laboratorio disponemos de una serie de tamices completa, desde el diámetro 63mm a 63 $\mu$ mm, en nuestro caso utilizamos como máximo el tamiz 14mm hasta 63 $\mu$ mm según la serie UNE-EN 933-1



Imagen 4. 10 Serie de tamices

#### **-Estufa**

Se dispone de una estufa, para la desecación de los áridos, capaz de alcanzar una temperatura de 250 $^{\circ}$ C.



Imagen 4. 11 Estufa

#### **-Báscula precisión**

Se dispone de varias básculas de precisión, las cuales en nuestro caso nos sirven para pesar exactamente los aditivos, con una precisión de hasta un miligramo.



Imagen 4. 12 Báscula de precisión

### **-Báscula**

En el taller del laboratorio, disponemos de una báscula la cual admite hasta 50 Kg. Con una precisión de  $\pm 20g$ .



Imagen 4. 13 Báscula

### **-Herramientas ensayo escurrimiento**

El ensayo de escurrimiento determina la fluidez del hormigón autocompactante, según UNE-EN 12350-8:2011 para ello necesitamos las siguientes herramientas:

#### **-Bandeja plana**

Aproximadamente de medidas 850mm x 850mm, no atacable por la pasta de cemento.



Imagen 4. 14 Bandeja plana

### -Molde tronco de cono

Debe ser de espesor mínimo de 1,5mm, el interior liso, libre de protuberancias y no presentar abolladuras, con forma de tronco de cono con las siguientes características:

Diámetro inferior cono:  $200 \pm 2\text{mm}$

Diámetro superior cono:  $100 \pm 2\text{mm}$

Altura cono:  $300 \pm 2\text{mm}$

La base y la parte superior deberán estar abiertas y ser paralelas entre sí, formando un ángulo recto con el eje del cono. El molde deberá estar provisto en la parte superior de dos asas, y en la parte inferior de dos piezas de pie para sostenerlo firmemente.



Imagen 4. 15 Molde tronco de cono

### -Metro o regla graduada

Sirve medir la torta de hormigón correspondiente del ensayo en mm, como mínimo longitud de 1000mm.

### -Cronómetro

Capaz de medir el tiempo con una resolución del tiempo en decimas de segundo



Imagen 4. 16 Cronómetro

## Herramientas ensayo Embudo en V

El embudo en V es una herramienta que nos sirve para determinar la viscosidad y la capacidad de llenado del hormigón autocompactante, con las siguientes características según UNE 83364 y UNE 12350-9:



Imagen 4. 17 Embudo V

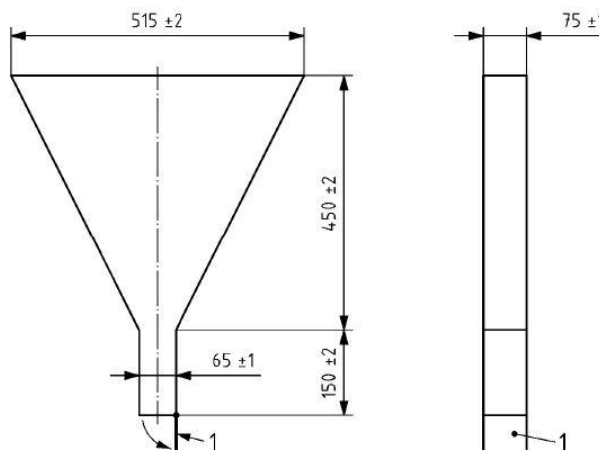


Ilustración 4. 1 Esquema embudo V

## Recipiente de llenado

En el laboratorio disponemos de cubos metálicos para este fin, con una capacidad de 10L

## Herramientas ensayo Anillo japonés

Para el ensayo de anillo japonés se realiza con determinadas herramientas con las siguientes características según UNE-EN 12350-12:2011:

### Anillo Japonés:

En este caso utilizaremos el anillo japonés de barras poco separadas, formado por 20 barras lisas de 18 mm de diámetro, dispuestas en un anillo de 300mm de diámetro y separación 41mm entre barras.



Imagen 4. 18 Anillo Japonés

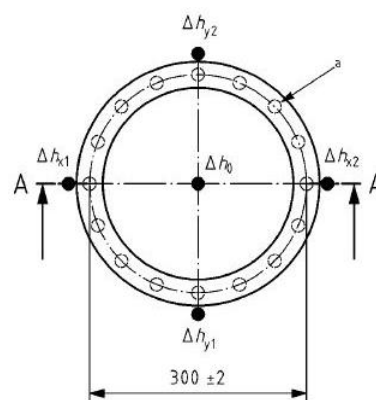


Ilustración 4. 2 Esquema Anillo Japonés

### Molde tronco de cono

El molde tronco de cono tiene las mismas características que el utilizado para el ensayo de escurrimiento, con la diferencia de no disponer de fijaciones inferiores, sino intermedias en altura del cono, como se aprecia en la imagen.

Diámetro inferior cono:  $200 \pm 2\text{mm}$

Diámetro superior cono:  $100 \pm 2\text{mm}$

Altura cono:  $300 \pm 2\text{mm}$



Imagen 4. 19 Molde tronco cono

### Metro o regla graduada

Sirve medir la torta de hormigón correspondiente del ensayo en mm, y la diferencia de alturas entre el interior y exterior del anillo



Imagen 4. 20 Metro

Además del anillo y el molde de cono, utilizaremos la bandeja, el recipiente de llenado.

### -Hormigonera 20litros

Se dispone de una hormigonera capaz de amasar hasta 20 litros de hormigón y una densidad de hasta  $12\text{kg/m}^3$  en fibras, es utilizada para la caracterización del material, y las correspondientes amasadas de promotor de adherencia.



Imagen 4. 21 Hormigonera 20 litros



### -Hormigonera 60 litros

Para amasadas mayores a 20 litros, disponemos de una amasadora mayor, capaz de amasar hasta 60 litros de hormigón y una densidad de  $12\text{kg/m}^3$  en fibras, se utiliza cuando el material ya ha sido caracterizado, para las amasadas de mayor cantidad para vigas, dispone de un carro con el cual se puede sacar la tolva y desplazar al sitio donde se encuentra el encofrado.



Imagen 4. 22 Hormigonera 60 L

### -Moldes

Los moldes empleados son de dos tipos, según UNE EN 12390-1

Molde para probetas cilíndricas formado por un plato y un cilindro abatible, de acero fundido, totalmente desmontable, las medidas nominales interiores serán de:

Diámetro: 150 mm

Altura: 300 mm

Cumpliendo que la altura es 2 veces el diámetro.



Imagen 4. 23 Molde cilíndrico

### -Molde para probetas prismáticas

Formado por una base plana y dos paredes en forma de L, de acero fundido, totalmente desmontables, fijadas por tornillos, las medidas nominales interiores serán de:

Ancho: 100 mm

Largo: 400 mm

Alto: 100 mm

Cumpliendo que el ancho es igual al alto y el Largo es  $\geq 3,5$  veces el ancho



Imagen 4. 24 Molde prismático

### -Pulidora de probetas

Para el refrentado de probetas cilíndricas, en este caso utilizamos una máquina específica de pulir probetas, formada por un disco de diamante el cual gira puliendo la base de la probeta, es de la marca Ibertest:



Imagen 4. 25 Pulidora probetas

### -Llana

Como herramienta de mano, hemos utilizado una llana de mano, la cual es utilizada para trabajos varios como, la limpieza del resto del material y enrasar la cara superior de vigas y probetas.



Imagen 4. 26 Llana

### **-Máquina ensayo a compresión**

Para la realización de los distintos ensayos de compresión y deformación se utilizan las maquinas del laboratorio:

Las características de la máquina de compresión utilizada son:

Fuerza Máxima: 1500 kN

Fabricante: Ibertest

Modelo: MEH-1500/SW

Dos escalas 1/1 (1500 kN) y 1/10 (150 kN)



Imagen 4. 27 Maq. Compresión

### **-Máquina ensayo a flexión**

Es utilizada para la realización del ensayo a flexión de carga central para probetas prismáticas, y el ensayo de flexión de vigas aligeradas, con carga en dos puntos. Las características de la máquina utilizada son:

Fuerza Máxima: 150 kN

Fabricante: Ibertest

Modelo: PEF-150-MDA

Dos escalas 1/1 (150 kN) y 1/5 (30 kN)

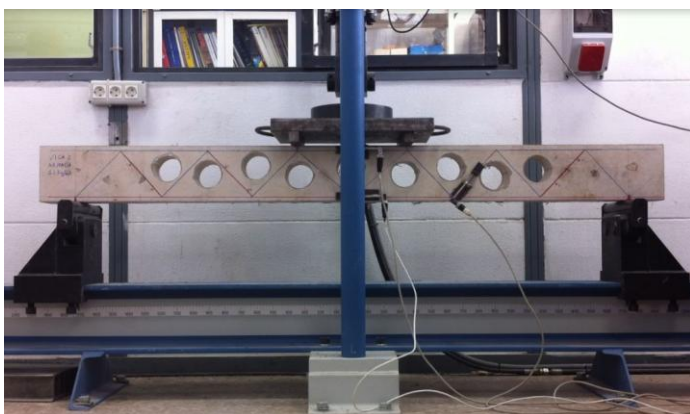


Imagen 4. 28 maquina ensayo a flexión

## Encofrados de vigas aligeradas

El encofrado de las vigas aligeradas es formado por diversos materiales como:

### Madera contrachapada:

Se decide hacer el encofrado con este tipo material puesto que al tener una capa de contrachapado aguantará mejor el ataque del agua proveniente del hormigón, evitando así que este se hinche o se deforme. Esta formado por :

- dos tablas longitudinales de medidas 2100 mm de largo x 1150 mm de alto con un grosor de 12,5mm.
- dos tablas transversales de 170 mm de largo x 1150mm de alto con un grosor de 12,5mm.
- una base de 2100mm de largo x 210 mm de ancho y 12,5mm de grosor con un grosor de 12,5mm.

Ambas partes unidas entre sí mediante tornillos de 40mm



Imagen 4. 29 Encofrado contrachapado

### Tubos de policloruro de vinilo (pvc)

Para el aligeramiento del interior de la viga se realiza mediante tubos de pvc, los cuales serán reutilizados para la elaboración de todas las vigas aligeradas.

Dado que el diámetro comercial es de 90mm, es superior al requerido en el trabajo, se procede a cortar todos los tubos longitudinalmente, con la intención de minimizar el diámetro hasta la medida requerida, en este caso 83mm de diámetro, para que el tubo mantenga la medida necesaria, es atado mediante bridas de plástico.

Para la correcta colocación de los tubos, es dibujada la situación de cada tubo en el encofrado y de todo el armado de la viga.

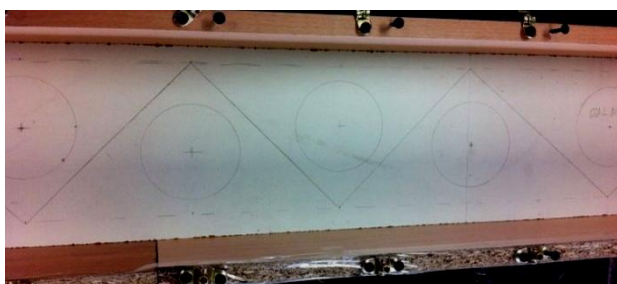


Imagen 4. 30 Situación tubos PVC

Uno de los problemas que nos suponía introducir las aligeraciones en la viga mediante los tubos de pvc sería la elevación de éstos a la hora de hormigonar, puesto que estos se elevarían una vez comenzado el vertido del hormigón autocompactante por la presión ejercida por el mismo. Para solucionar este problema se dispuso de unas barras colocadas en una entalladura realizadas a los tubos, y estas sujetas al encofrado longitudinal, evitando así la elevación de estos.

Antes de hormigonar, es preciso pintar con desencofrante toda la superficie del encofrado, para así facilitar el desencofrado y poder reutilizar de nuevo el material.



Imagen 4. 31 Solución tubos PVC

#### **4.4. Estudio granulométrico**

Para la determinación de la granulometría en la dosificación, se procede al siguiente procedimiento.

Se estudia el tamaño de la composición de cada tipo de árido por separado, para ajustar el estudio granulométrico del hormigón, el procedimiento para los dos tipos de arena y la grava es el mismo, para ello:

1. Tomar una muestra de cada tipo de árido en una bandeja, esta muestras permanecerán en la estufa durante 24 horas a una temperatura de 100°C , desecando el árido:



**Imagen 4. 32 Estufa desecación**

2. Pasadas las 24 horas, y desecados los áridos, para reducir el tamaño de muestra utilizamos la ayuda de un cuarteador de áridos, tantas veces como sea necesario hasta conseguir una cantidad no menor a 200 g en las arenas (UNE-EN 933-1), y pesamos la muestra.



**Imagen 4. 33 Cuarteador árido fino**

3. Procedemos al lavado de la muestra con ayuda de tamices, para eliminar los finos, y volvemos a meter a la estufa 24 horas.



Imagen 4. 34 Lavado - eliminación de finos

4. Tras las 24 horas, pesamos dicha muestra, y obtendremos por diferencia el porcentaje de finos que contiene cada tipo de árido.  
Foto
5. Una vez calculado el peso de finos, procedemos a tamizar cada tipo de árido, según UNE-EN 933-1 y con la serie de tamices para ver la composición de cada árido, con el siguiente procedimiento:
  - a) Verificar la limpieza de los tamices a utilizar.
  - b) Comienzo con el tamiz de mayor diámetro, se vierte toda la muestra en el tamiz, y se agita manualmente, con la precaución de no perder parte del material.
  - c) Se continua el proceso hasta llegar al tamiz de 63  $\mu\text{m}$ , en el cual solo pasará el fino contenido en la muestra
  - d) Con la ayuda de una báscula, se anotarán la masa retenida en cada tamiz, para sacar el porcentaje retenido.

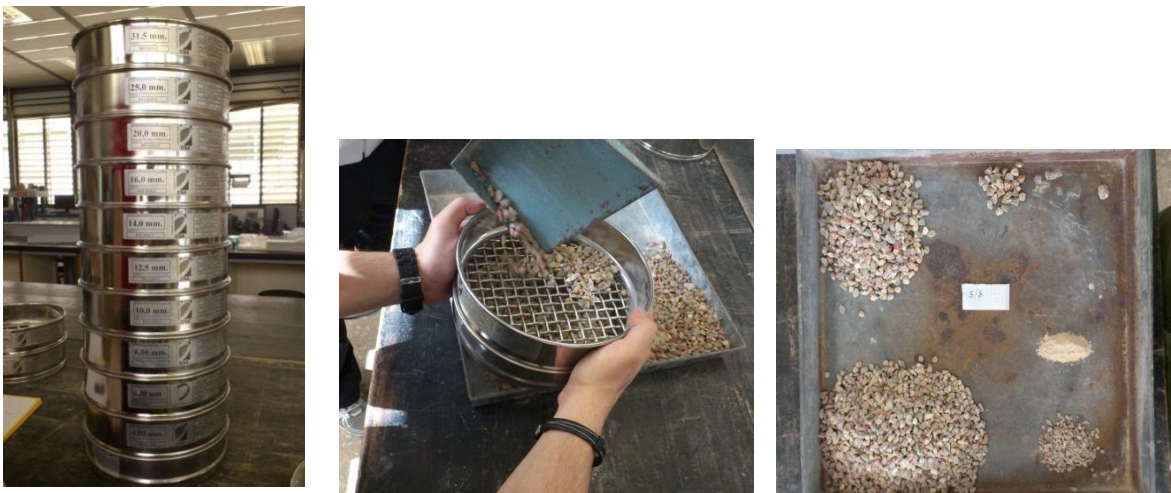


Imagen 4. 35 Serie de tamices, tamizado, árido descompuesto

En el anexo 1 se adjuntan los datos obtenidos relacionados con la granulometría de los áridos.

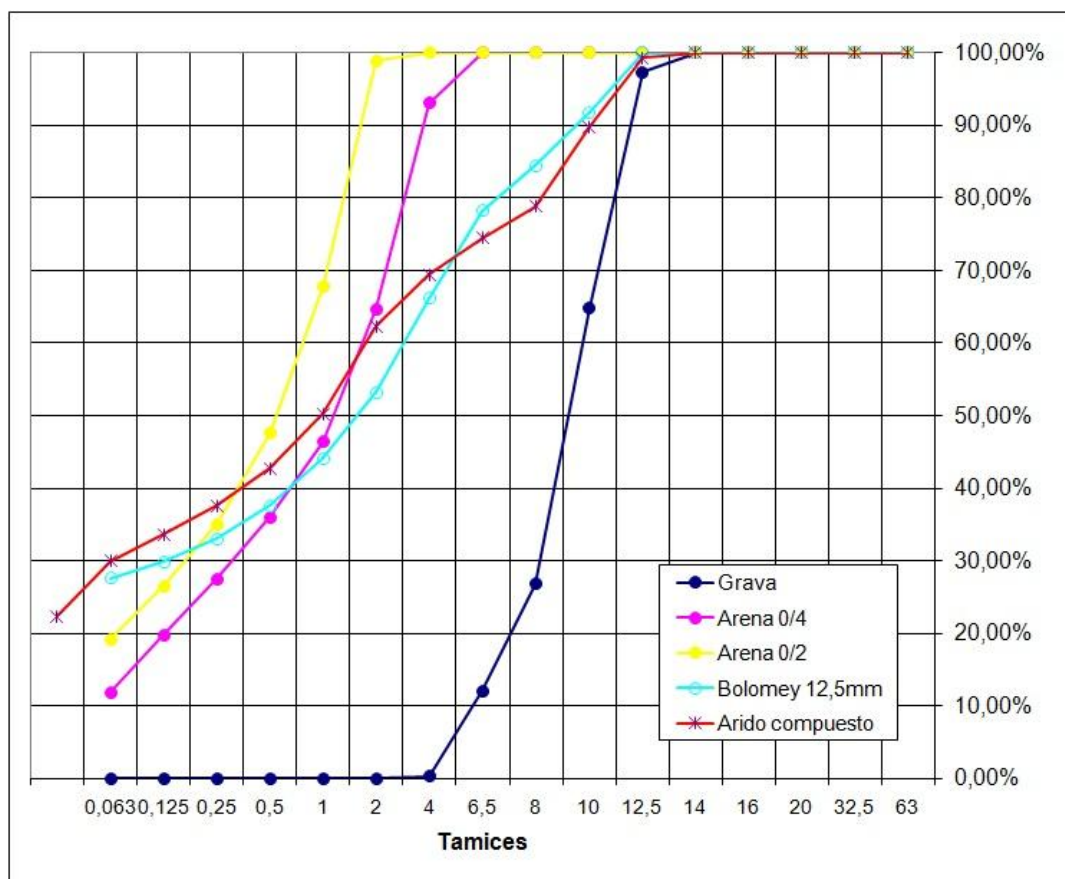


Tabla 4. 1 Estudio granulométrico áridos



### **4.5. Determinación de la humedad en los áridos**

Uno de los factores más importantes en un hormigón, es la cantidad de agua, la cantidad de agua puede variar dependiendo de si el árido está húmedo o seco, para no cometer errores en este aspecto, se procede antes de cada amasada hacer el cálculo de la humedad libre de cada tipo de árido, de la siguiente forma:

En este caso comprobaremos la humedad libre de la arena 0/2 mediante diferencia de peso:

En cálculos previos se calcula la absorción de humedad que tiene el arido en este caso obtenemos 1 %

1º Se pesa en báscula de precisión

Sartén + Paleta: 523,3 g = Mc

2º Se incorpora una pequeña muestra de ensayo del árido acopiado dentro del laboratorio:

Sartén+paleta+árido húmedo: 749,3 g = Mch

3º Secar en hornillo, y volver a pesar hasta que no halla diferencia de masa tantas veces como sea necesario:

Sartén+paleta+árido seco: 733,7 g = Mhs

Procedimiento:

Ph = Peso de la muestra húmeda:  $Mch - Mc = 749,3 - 523,3 = 226 \text{ g}$

Ps = Peso de la muestra seca:  $Mhs - Mc = 733,7 - 523,3 = 210 \text{ g}$

Humedad total en % =  $(Ph - Ps) / Ps = 0,076 \times 100 = 7,6 \%$

Humedad libre = Humedad total – Absorción árido

Humedad libre =  $7,6\% - 1\% = 6,6 \%$



Imagen 4. 36 Tara de Sartén y espátula

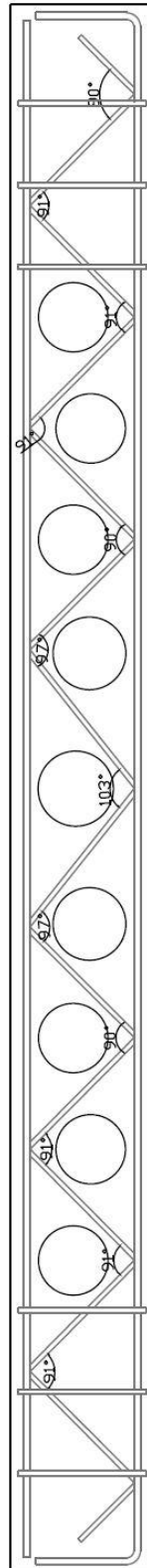


Imagen 4. 37 Desecación árido

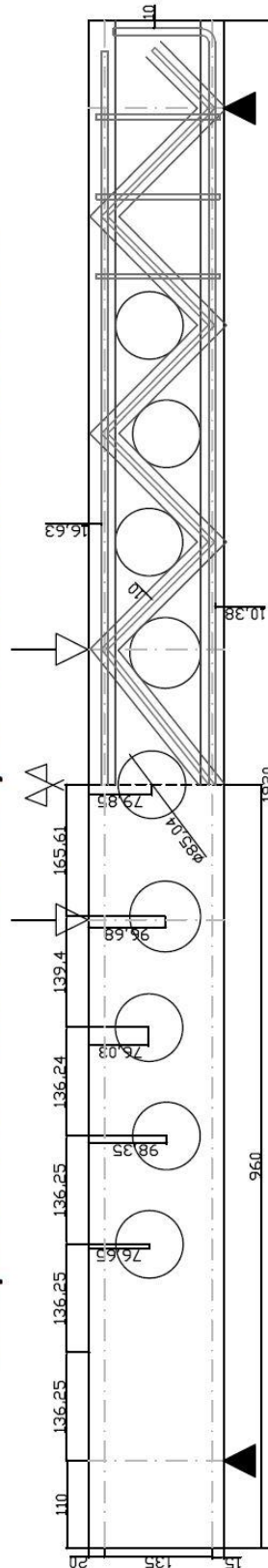
#### 4.6. Plano situación aligeraciones, recubrimientos y diagonales

Tal y como se ha explicado en el apartado 3 Programa Experimental, las aligeraciones están condicionadas por el armado, en el siguiente plano se adjuntan las cotas situadas a centro de las aligeraciones, y justificación recubrimientos.

Ángulos de diagonales



Disposición de huecos y recubrimientos arm.





### **4.7. Montaje del armado**

Para el montaje del armado de la viga seguimos el siguiente procedimiento:

1. Doblado de barras inferiores longitudinales con patillas de 120 mm

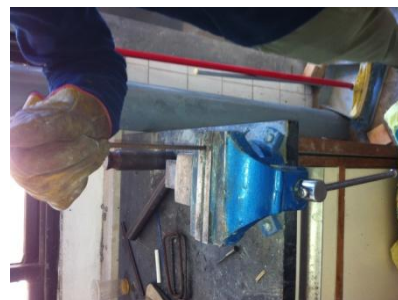
Las barras longitudinales inferiores a de hacerse una patilla de anclaje en cada extremo, para ello, fijamos la barra en un banco de mesa fijo del laboratorio, y con la ayuda de un tubo hueco doblamos la barra por la medida adecuada, como las barras proporcionadas miden más de lo necesario, posteriormente con una radial se corta el hierro sobrante.



**Imagen 4. 38 Doblado de armado**

2. Corte de barras superiores longitudinales de 1880 mm

Con la radial disponible en el laboratorio cortamos a la medida necesaria la barra superior, utilizando los epis correspondientes.



**Imagen 4. 39 Doblado de cercos**

3. Doblado de cercos

Los cercos se doblan con ayuda del banco fijo y el tubo hueco, con la medida fijada.

4. Doblado de diagonales

Las diagonales se doblan con ayuda del banco y fijo y el tubo hueco, pero con la peculiaridad de que cada ángulo es distinto, se dibuja una plantilla del armado en una tabla y se van probando cada ángulo a la medida necesaria, con la precaución de que cada doblez este en el mismo plano.



**Imagen 4. 40 Diagonal en plantilla**

5. Soldadura de diagonales al armado superior e inferior

Con una soldadora de arco, el técnico de laboratorio Jesús, da un punto a cada vértice de las diagonales, quedando estas fijadas a la armadura superior e inferior.

6. Atado de cercos a la armadura

Una vez unidos el armado superior e inferior mediante la soldadura de las diagonales introducimos la armadura en los cercos y se ata con alambre a los cuatro vértices de cada cerco.



Imagen 4. 42 Armado completo



Imagen 4. 41 Armado cercos

### **4.8. Montaje del encofrado y hormigonado**

En el apartado anterior de materiales, se justifica la elección de materiales para el encofrado, a continuación se explica el proceso de montaje completo de la viga:

1. Una vez adquirido los correspondientes tableros con las dimensiones específicas procedemos a unirlos mediante tornillos de longitud de 40mm y diámetro 4.

Se prepara el encofrado pintado con desencofrante toda la superficie interior

2. Se coloca el armado, totalmente terminado en el interior del encofrado, con la precaución de que éste no toque la parte pintada del encofrado, colocando unos dados de hormigón de recubrimiento 10mm



Imagen 4. 43 Preparación molde y colocación del armado

3. Una vez colocado el armado, procedemos a colocar los tubos de pvc cortados y cerrados mediante bridas, los cuales han sido pintados con desencofrante para facilitar el desencofrado y reutilizarlos.

4. Colocados los tubos, se disponen barras transversales a estos, dichas barras estarán fijadas al encofrado longitudinal mediante pasadores, para evitar el levantamiento de los tubos y hacer presión contra la base evitando así la penetración de lechada al interior del molde.



Imagen 4. 44 Fijación de tubos

5. Fijados los tubos, se tapan con papel para evitar que la masa penetre en el interior del tubo de pvc.



Imagen 4.45 Cubrición de tubos



Imagen 4.46 Vertido de hormigón

6. Preparado el encofrado se realiza la amasada correspondientes y se vierte el hormigón con un cubo y palas de mano

7. Pinchando en el vertido con varillas de diámetro 6 y golpeando con mazo de goma se evita la formación de coqueras por la acumulación de fibras



Imagen 4.47 Eliminación de coqueras

8. Por último, con una llana se enrasa la cara superior de la viga dejando una superficie uniforme, con la precaución de no arrastrar fibras y se tapa con plásticos.



Imagen 4.48 Enrasado con paleta

### 4.9. Identificación de vigas

Para la correcta identificación de las vigas y no cometer errores, se procede tras el hormigonado a su identificación mediante etiquetas:

Ejemplo de etiqueta

Viga 1. Patrón armada
Arm. Sup: 2Ø8
Arm: Inf: 4Ø8
Diagonales:
4Ø6 x 120
2Ø6 x 90
Est: 3Ø6 /10
Fecha Hormigonado
08/05/2013 tarde



Imagen 4. 49 Etiquetado vigas

Tras el desencofrado y teniendo el hormigón un estado endurecido, antes de trasladar la viga a la cámara de curado, se procederá a identificarla mediante un lápiz de grafito, puesto que con la humedad de la cámara la etiqueta se estropeará, perdiendo así la información de esta.

Las vigas y sus correspondientes probetas para ensayos se identifican mediante un nombre, cantidad de fibras contenidas y fecha de hormigonado, en el trabajo tenemos siete tipologías de vigas las cuales se diferencian en la cantidad de armado y cantidad de fibras, estos tipos son:

Numero de Viga	Nombre de viga	Composición
Viga 1	Viga Patrón armada	-HAC inicial y armadura inicial
Viga 2	Viga armada 2 fibras 6,2kg/m <sup>3</sup>	-HAC inicial y armadura inicial + 6,2kg/m <sup>3</sup> de fibras
Viga 3	Viga armada 3 fibras 9 kg/m <sup>3</sup>	-HAC inicial y armadura inicial + 9 kg/m <sup>3</sup> de fibras
Viga 4	Viga armada 4 fibras 12,4 kg/m <sup>3</sup>	-HAC inicial y armadura inicial + 12,4 kg/m <sup>3</sup> de fibras
Viga 5	Viga semi-armada 5 9kg/m <sup>3</sup>	-HAC inicial y mitad cantidad armadura inferior + 12,4 kg/m <sup>3</sup> de fibras
Viga 6	Viga patrón sin armadura	-HAC inicial sin armadura
Viga 7	Viga sin armadura 24 kg/m <sup>3</sup>	-HAC inicial sin armadura + 24 kg/m <sup>3</sup>

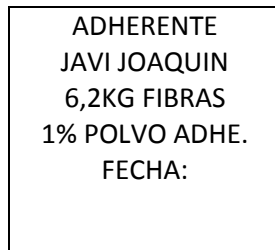
Tabla 4. 2 Tipología vigas



#### **4.10. Identificación amasadas promotor de adherencia**

Para el trabajo de promotor de adherencia y dado el alto contenido de probetas resultantes para este trabajo, se identifican mediante una etiqueta cada probeta tras su hormigonado:

Ejemplo:



Indicando :

Contenido de Fibras T60  
Porcentaje de Promotor Adherente Liquido o Polvo  
Fecha: (de hormigonado)

Al igual que en las vigas, una vez desencofradas a las 24 horas, son identificadas con lápiz de grafito antes de trasladarlas a la cámara de curado en la cual permanecerán hasta cumplir los 28 días de curado.

### 4.11. Dosificación hormigón

Ejemplo cálculos realizados para una amasada de 20 litros

Para la fabricación del hormigón disponemos de dos hormigoneras, expuestas en el apartado anterior de herramientas y equipos, para la realización de las distintas amasadas una vez obtenido la dosificación necesaria, hemos seguido los siguientes pasos.

FINOS kg	MATERIAL	Kg	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Kg Post corrección H2O	Kg amasada 20L sin corrección H2O	Kg amasada 20L corregida H2O	Humedad libre
CEM II B 42,5 R								
<b>a/c 0,6</b>			densidad	Volumen	correc. H2O	10/05/2013	corrección H2O	
325	Cem	<b>325</b>	3	108,3	325	6,50	<b>6,50</b>	
	Agua	<b>195</b>	1	195,0	132,03	3,90	<b>2,70</b>	
<b>18,5</b>	Finos 1	<b>18,5</b>	2,65	7,0	18,5	0,37	<b>0,37</b>	
87,9	A fina 28	<b>517,0</b>	2,65	195,1	558,82	10,34	<b>10,96</b>	<b>0,0600</b>
75,7	A grue 41	<b>757,0</b>	2,65	285,6	775,89	15,14	<b>15,65</b>	<b>0,0336</b>
	Grava 30	<b>553,9</b>	2,65	209,0	553,88	11,08	<b>11,13</b>	<b>0,0045</b>
		<b>2.366</b>	total V =	<b>1000,0</b>		47,33	<b>47,31</b>	
<b>507,0</b>	Finos total							
	aditivo 1,3 %	4,225	1,05	4,02			0,0845	
	fibras T60	<b>9</b>					0,1800	
	Adherente	3,25					0,065	

Tabla 4. 3 Ejemplo dosificación

Una vez obtenida la dosificación por m<sup>3</sup>, se mide la humedad libre del árido, tal y como se indica en el apartado anterior *Determinación de humedad de los áridos*

Obtenida la humedad, se modifica la cantidad de agua y cantidad de áridos de la amasada, puesto que la cantidad de árido se ve influenciada por la humedad libre, ya que él mismo es el que contiene dicha humedad incrementando el peso del árido.

### **4.12. Fabricación hormigón**

Una vez calculada la dosificación, procedemos a la preparación de todos los materiales para la elaboración del hormigón, con los siguientes pasos:

1. Utilización de los EPIS correspondientes, guantes, ropa, gafas y botas
2. Cálculo de la humedad libre de los áridos según se ha explicado apartado anterior.
3. Corrección de los áridos.
4. Pesar cada componente según la dosificación corregida por el cálculo de la humedad. Los áridos, cemento, agua, filler y las fibras se pesan en una báscula, el aditivo superfluidificante y aditivo líquido o polvo se pesa en báscula de precisión.
5. Echar en la hormigonera los materiales y dejar mezclarse durante alrededor de dos minutos en el orden siguiente:
  - Grava
  - Arena gruesa y fina
  - Cemento y filler



Imagen 4. 50 Mezclado de áridos y finos

6. Una vez mezclados los componentes anteriores, se le añade aproximadamente el 50% del agua de la dosificación, una vez mezclado, la otra mitad del agua se mezcla con el aditivo superfluidificante y se vierte sobre la mezcla.
  - \*En el caso del aditivo promotor de adherencia, este se mezcla con el primer vertido de agua tanto como si es líquido o sólido.



Imagen 4. 51 Disolución promotor adherente sólido y vertido de agua con superplastificante

7. Se deja la amasada mezclar para que el superfluidificante haga efecto, unos 8 minutos y sucesivamente se efectúa el ensayo de escurrimiento, ensayo embudo en V y ensayo de escurrimiento del anillo japonés y se anotan los resultados.



Imagen 4. 52 (Izda. a Dcha. Ensayo anillo Japonés, escurrimiento, embudo V)

8. Si los ensayos son correctos, se deja mezclar durante unos segundos, para que vuelva la homogeneidad, y se le añaden las fibras uniformemente, evitando la formación de “erizos” en la amasada, se deja amasar hasta ver la homogeneidad total de la masa



Imagen 4. 53 Vertido de fibras

9. Se realizan de nuevo los ensayos con fibras en escurrimiento, anillo japonés y V, se anotan los resultados y se vuelve a mezclar toda la masa, se mezcla durante unos segundos y acto seguido se llena el encofrado y los correspondientes moldes para probetas.



Imagen 4. 54 Ensayo escurrimiento fibras y hormigonado molde

10. Por último, se limpian todos los equipos y herramientas utilizados para la amasada.

### **4.13. Vertido y compactación del hormigón**

Amasado el hormigón, teniendo los moldes y el encofrado pintado con desencofrante, procedemos a su llenado, el hormigón autocompactante no es necesario compactar, pero dada la cantidad de fibras, y la dimensión del encofrado es reducida, se pueden producir coqueras formadas por las propias fibras, para evitar coqueras nos ayudamos de barras de acero de pequeño diámetro (6mm) y un mazo de goma durante el vertido, evitando así la conglomeración de las fibras y aparición de coqueras.

Finalmente con una llana de acero, se enrasa la superficie de la probeta o en su caso la cara superior del encofrado de la viga, con la precaución de no arrastrar fibras.



### **4.14. Curado del hormigón fresco**

Tras el hormigonado, las probetas y la viga se dejan 24 horas sin mover del sitio, tapadas con plásticos para evitar la pérdida de agua e identificándolas con un etiqueta.

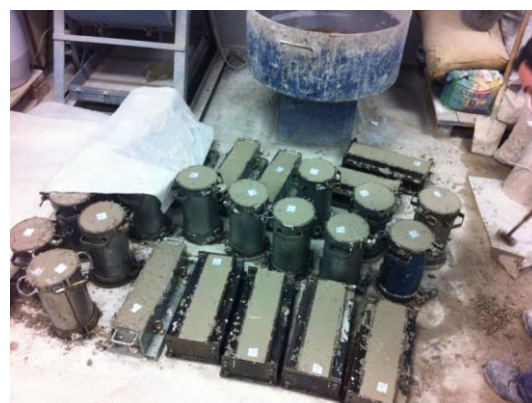


Imagen 4. 55 Curado de viga y probetas

#### **4.15. Desmoldado de probetas y desencofrado**

Transcurridas las 24 horas del hormigonado, el hormigón ya a fraguado y pasa aun estado endurecido, el cual ya puede ser desmoldado del molde o encofrado. Seguimos el procedimiento explicado por los técnicos de laboratorio, y una vez tenemos la probeta extraída del molde, el molde ha de ser limpiado con espátula y estropajos, y pintado con liquido desencofrante para su reutilización.



Imagen 4. 56 Desmoldado de probetas y desencofrado de viga

#### **4.16. Curado de probetas y vigas**

Identificadas las probetas y vigas tras el desmoldado, se llevan a la cámara húmeda de curado, situada en el laboratorio, en el cual estarán hasta completar los 28 días para su respectivo ensayo.



Imagen 4. 57 Cámara de curado y paneles sensores de temperatura

### 4.17. Ensayos estado fresco

Durante la realización de las amasadas, se someterá al hormigón fresco a los ensayos correspondientes en estado fresco, según UNE EN 12350:

La EHE-08 establece unos requisitos generales para la autocompactabilidad del hormigón, son los siguientes:

Tabla A17.2. Requisitos generales para la autocompactabilidad

Ensayo	Parámetro medido	Rango admisible
Escurrimiento	$T_{50}$	$T_{50} \leq 8 \text{ seg}$
	$d_f$	$550 \text{ mm} \leq d_f \leq 850 \text{ mm}$
Embudo en V	$T_V$	$4 \text{ seg} \leq T_V \leq 20 \text{ seg}$
Caja en L	$C_{DL}$	$0,75 \leq C_{DL} \leq 1,00$
Escurrimiento con anillo J	$d_{Jf}$	$\geq d_f - 50 \text{ mm}$

Tabla 4. 4 Rangos admisibles EHE-08

Estos ensayos serán realizados por este orden:

#### -Ensayo de escurrimiento o SlumpFlow:

Con este ensayo se evalúa la fluidez y la velocidad de flujo del hormigón autocompactante.

El ensayo se realiza una vez fabricado el hormigón, tras el tiempo necesario para que el Superplastificante haga efecto, alrededor de 8 minutos, con un cubo llenamos el cono centrado en la placa base, la cual debe estar limpia y nivelada, deberá estar húmeda pero sin exceso de agua:

Llenado el cono, se levanta verticalmente en un único movimiento, sin interferir con el flujo de hormigón. Observamos si hay segregación o exudación en el mismo.

Mediremos el tiempo que transcurre hasta que el hormigón alcanza la marca de 500mm, y una vez el hormigón se haya estabilizado, se mide el diámetro mayor de la torta  $d_1$ , y un segundo diámetro  $d_2$  perpendicular a  $d_1$ .



Imagen 4. 58 Ensayo escurrimiento



Imagen 4. 59 Medición diámetro torta

Los resultados deben oscilar :

Tabla A17.3 Clases de escurrimiento

Clase	Criterio, según UNE 83.361
AC-E1	$550 \text{ mm} \leq d_f \leq 650 \text{ mm}$
AC-E2	$650 \text{ mm} < d_f \leq 750 \text{ mm}$
AC-E3	$750 \text{ mm} < d_f \leq 850 \text{ mm}^{(*)}$

**Tabla 4. 5 Clases de escurrimiento**

Tabla A17.4 Clases de viscosidad

Clase	Criterio por el ensayo de escurrimiento, según UNE 83.361	Criterio alternativo por el ensayo del embudo en V, según UNE 83.364
AC-V1	$2'5 \text{ seg} < T_{50} \leq 8 \text{ seg}$	$10 \text{ seg} \leq T_v \leq 20 \text{ seg}$
AC-V2	$2 \text{ seg} < T_{50} < 8 \text{ seg}$	$6 \text{ seg} \leq T_v \leq 10 \text{ seg}$
AC-V3	$T_{50} \leq 2 \text{ seg}^{(*)}$	$4 \text{ seg} \leq T_v \leq 6 \text{ seg}^{(*)}$

**Tabla 4. 6 Clases de viscosidad**

Si los resultados son correctos, procedemos a verter el hormigón a la hormigonera, dejamos que se homogenice y realizamos los demás ensayos a continuación descritos, tras estos, añadimos las fibras, repetimos el mismo proceso para el hormigón con fibras.



### -Ensayo de escurrimiento con anillo Japonés

Ensayo con el cual se evalúa, la capacidad de fluidez del hormigón autocompactante al paso a través de armaduras, en este caso del anillo japonés.

El procedimiento es similar al ensayo de escurrimiento, colocación de la base nivelada, colocación del anillo japonés y del cono, llenamos el cono y enrasamos la parte superior, evitando salpicaduras en la placa base, la base debe estar húmeda pero sin exceso de agua.

Retiramos el cono y observamos como fluye el hormigón, y si hay segregación o exudación en éste.

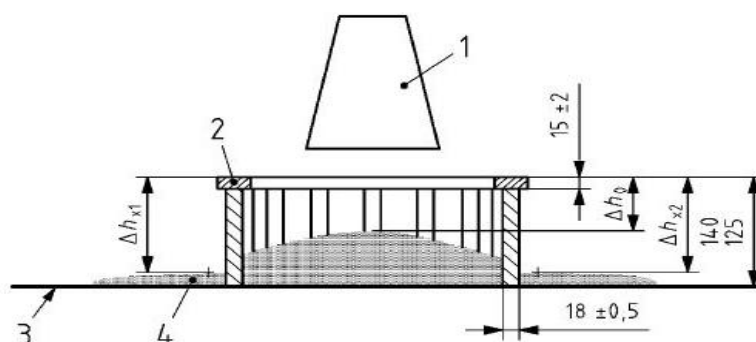


Imagen 4. 60 Diámetro ensayo anillo Japonés

Mediremos y anotaremos el tiempo de paso por algún punto del círculo de 500mm, capacidad de paso, llamado escalón de bloqueo que es la diferencias de altura por el interior/ exterior del cono, el mayor diámetro del flujo expandido  $d_1$ , y el diámetro  $d_2$  medido perpendicularmente al  $d_1$ .



Imagen 4. 61 Altura interior anillo japonés



#### Leyenda

- 1 Cono
- 2 Anillo japonés
- 3 Placa base
- 4 Hormigón

$\Delta h$  Diferencia de altura entre la parte superior del anillo japonés y la altura máxima del hormigón en los puntos indicados

Ilustración 4. 3 Esquema ensayo Anillo Japonés

### -Ensayo del embudo en V

Con este ensayo determinamos la viscosidad y la capacidad de llenado del hormigón autocompactante.

Con el embudo limpio, y humedecido interiormente, con la compuerta cerrada, se vierte la muestra de hormigón en el embudo, sin agitación ni compactación mecánica, se enrasa el hormigón en la parte superior y colocamos un recipiente en la parte inferior para la recogida de la muestra.

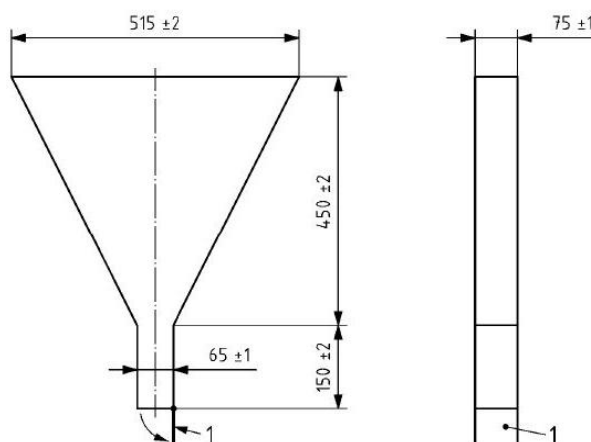
Tras su llenado esperamos 10 segundos y después abrimos la compuerta rápidamente de una única vez. Medimos y anotamos el tiempo que tarda en pasar el hormigón a través del orificio, hasta ver verticalmente a través del embudo el recipiente inferior.



Imagen 4. 62 Vertido embudo V

El tiempo T es el tiempo de flujo del embudo en V

El flujo de hormigón debe ser continuo, si se produce un bloqueo se repite una segunda vez, si se produce un segundo bloqueo el hormigón carece de viscosidad y capacidad de llenado necesarias para ser hormigón autocompactante



### -Ensayo contenido aire ocluido

Con este ensayo determinamos la cantidad de aire ocluido en la amasada de hormigón mediante el método del manómetro.

Se vierte el hormigón en el recipiente y se compacta mediante maza o barra, con objeto de eliminar las burbujas de aire atrapado, pero no del aire ocluido. Seguidamente se nivela la superficie superior del recipiente y se allana.

Se cierra en su posición y se abren las dos valvulas, inyectando agua por una de ellas hasta que sale por la otra. Se cierra la valvula de purgado de aire, y se bombea aire hasta que el manómetro indique 0, inicial. Se abre la valvula principal y se golpean los lados, y el manómetro, y se lee el valor indicado.

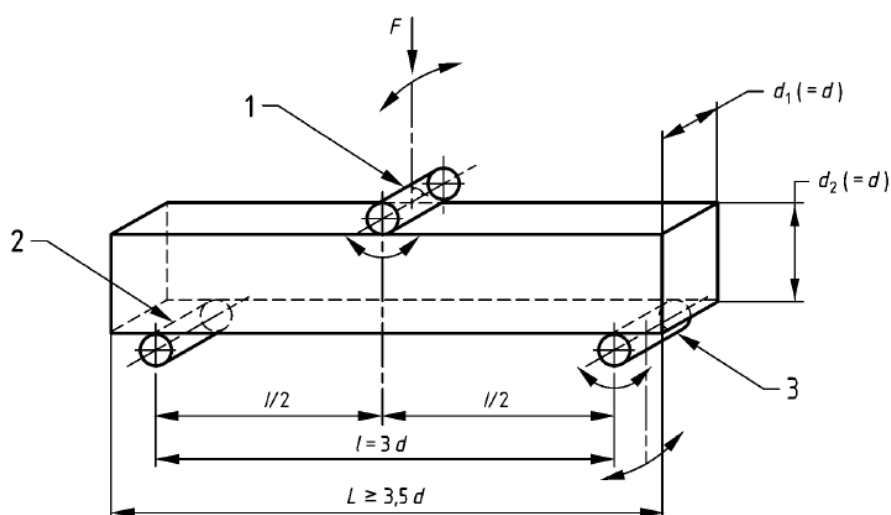


Imagen 4. 63 Manómetro

## 4.18. Ensayos en estado endurecido

### - Ensayo a flexión probetas

El ensayo a flexión se realiza de acuerdo a la norma UNE-EN 14651:2007+A1:2008 y UNE-EN 12390-5 método de ensayo para hormigón con fibras. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión mediante punto central de carga.



Leyenda

- 1 Rodillo de carga (capaz de girar e inclinarse)
- 2 Rodillo soporte
- 3 Rodillo soporte (capaz de girar e inclinarse)

Ilustración 4. 4 Esquema ensayo a flexión probetas prismáticas

Para este ensayo es necesario preparar las probetas prismáticas 400 x 100 x 100 mm previamente con:

- Una entalla de 10mm, para prever la rotura por el punto medio de la probeta
- Mediante dos gatos, sujetamos con uno el angular, y el otro el captador de abertura de 10mm.
- En la parte superior de la máquina, un captador de 50mm para la medición de la flecha

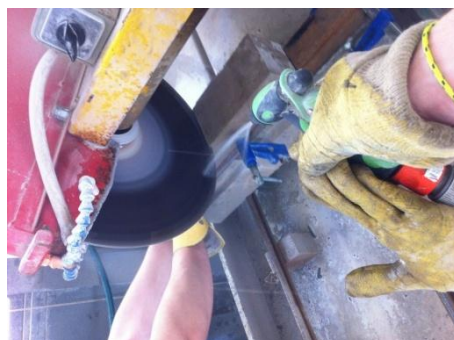


Imagen 4. 65 Entalladura p. prismática



Imagen 4. 64 Captador de flecha

Preparadas la probeta, se coloca la probeta con el lado más uniforme sobre los rodillos inferiores, con una separación entre rodillos de 300 mm, y con una distancia al extremo más próximo de la probeta desde uno de los apoyos de 50 mm.

Colocada la probeta, procedemos a la colocación del angular y del captador medidor de apertura, el cual se debe colocar casi cerrado tocando el angular, y en la parte superior de la máquina de ensayo, se coloca un captador medidor de flecha, el cual mide la flecha según descende una de las guías de la maquina.

Una vez colocados los captadores, dejando una distancia prudencial, se activa desde el ordenador para que la carga comience a aumentar, con una velocidad de 0,06 KN/s se ensaya hasta la rotura total de la probeta.

Se anotaran los resultados fuerza (KN), Resistencia (MPa) y los captadores de flecha y abertura de fisura (mm).



Imagen 4. 66 Ensayo Flexión

### **-Ensayo de deformación**

El ensayo de deformación se realiza de acuerdo a la norma americana, ANSI C469-65, la cual consiste en aplicar a una probeta cilíndrica de 150x300mm dos ciclos de carga y descarga.

Refrentada la probeta cilíndrica, colocamos el equipo de medida de deformación, el cual mediante un transductor nos indicara el modulo de deformación.

Colocado el equipo de deformación, se somete la probeta a dos ciclos de carga y descarga, de máximo el limite superior de carga del 40 % de la resistencia a compresión de este hormigón, la cual es obtenida mediante ensayo a compresión de cuatro medias probetas prismáticas del ensayo a flexión .

Anotaremos los resultados que el ordenador ofrece como, Fuerza (KN), Resistencia (MPa), Deformación (mm) y el modulo de deformación (Mpa)



Imagen 4. 67 Colocación anillos

Equipo de deformación:  
 Separación anillo superior – inferior : 150 mm  
 Limite Superior Carga: 40%  
 Numero de ciclos cargas: 2

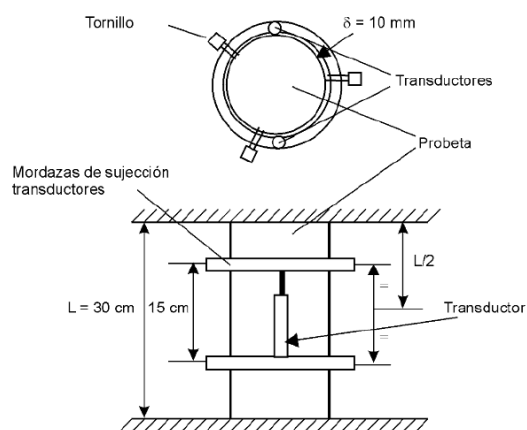


Ilustración 4. 5 Esquema anillos deformación



Imagen 4. 68 Ensayo de deformación

### -Ensayo a compresión

El ensayo de compresión se realiza de acuerdo a la norma UNE-EN 12390-3 y UNE-EN 83507

El ensayo a compresión consiste en la rotura a compresión de dos probetas cilíndricas y dos medias probetas prismáticas procedentes del ensayo flexión.

Para el ensayo de probetas cilíndricas, es necesario pulir la superficie de las dos bases para el correcto contacto con los platos de la máquina, mediante la maquina pulidora de probetas, y posteriormente con el pie de rey anotar dos diámetros, la altura y el peso total de la probeta.



Imagen 4. 69 Refrentado de probeta y medición de diámetro

Para el ensayo de las probetas prismática utilizaremos plato auxiliares con sección cuadrada de 100x100 mm.

Se coloca la probeta en la máquina de ensayos con los platos limpios, un captador medidor de 10 mm para medir la deformación y se le aplica una velocidad de 0,6 MPa·s hasta la rotura de la probeta.



Imagen 4. 70 Ensayo Compresión probeta cilíndrica y prismática

Anotaremos la Fuerza (KN), Resistencia (MPa) y la medida del captador

### -Ensayo vigas aligeradas

El ensayo de vigas aligeradas consiste ensayar a flexión dicha viga hasta la rotura. Se realiza mediante el apoyo de la viga en dos rodillos inferiores con una luz de 1700mm , y aplicar dos cargas puntuales separadas 170 mm del eje central de la viga.

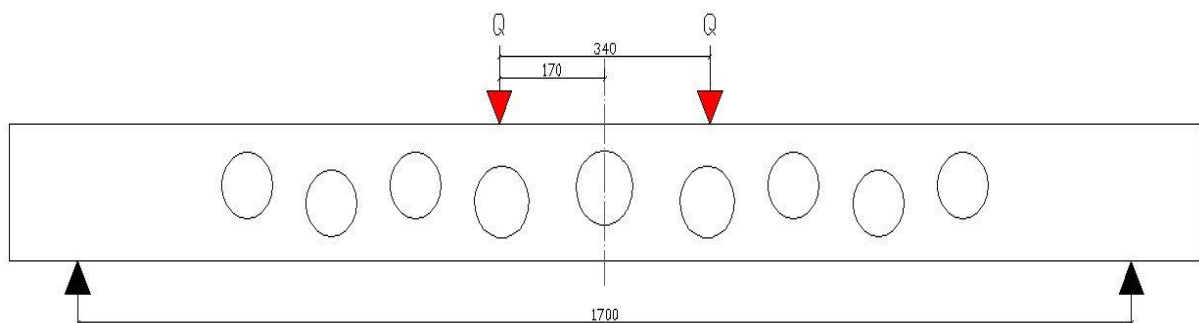


Ilustración 4. 6 Esquema ensayo vigas aligeradas mediante dos cargas y dos apoyos

Previamente a la colocación de la viga sobre los rodillos, se grafia sobre la viga que en que partes habrá esfuerzos de compresión (azul) y esfuerzos de tracción (rojo)



Imagen 4. 71 Grafiado de líneas de compresión y tracción, y colocación de captadores

Una vez grafada, se coloca la viga en la maquina con la precaución que la viga sea colocada perpendicularmente a la carga, y procedemos a colocar cuatro captadores con ayuda de pletinas de sujeción, uno en zona central superior el cual medirá la deformación en zona de compresión, otro en zona central inferior el cual medirá la deformación en zona de tracción, un tercero en una de las diagonales traccionadas midiendo así la deformación en dicha diagonal, y un cuarto captador en la guía de la máquina para medir la flecha total de la viga.



Imagen 4. 72 Colocación en maquina de ensayo

A parte de los captadores se disponen 3 pares de DEMEK (1-2)(3-4)(5-6), los cuales se colocan pegándolos a una distancia inicial fija, en zonas de tracción, se mide la distancia en los tres pares parando el ensayo, dichos puntos nos ofrecen información de deformación.



Imagen 4. 73 Colocación de DEMEC

Dado que la maquina del laboratorio solo dispone de un rodillo superior para transmitir una única carga, para transmitir dos cargas puntuales se decide poner dos barras de sección cuadrada, y sobre ellas un plato cuadrado y sobre éste otro circular, de esta forma el rodillo transmitirá a la viga las cargas distribuidas en dos puntos.

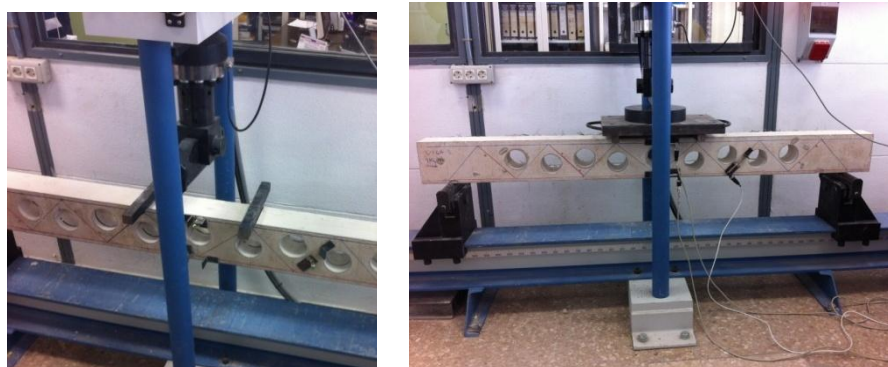


Imagen 4. 74 Colocación transmisores cargas puntuales

Una vez colocados los captadores y las cargas, se inicia el ensayo, a una velocidad de 0,06 KN·s, dejando una distancia prudencial entre la maquina y los allí presentes, cuando se empiezan a ver fisuras se para el ensayo, se grafían con rotulador y se miden la distancia en los tres pares de DEMEK en el menor tiempo posible puesto que la viga esta en carga.

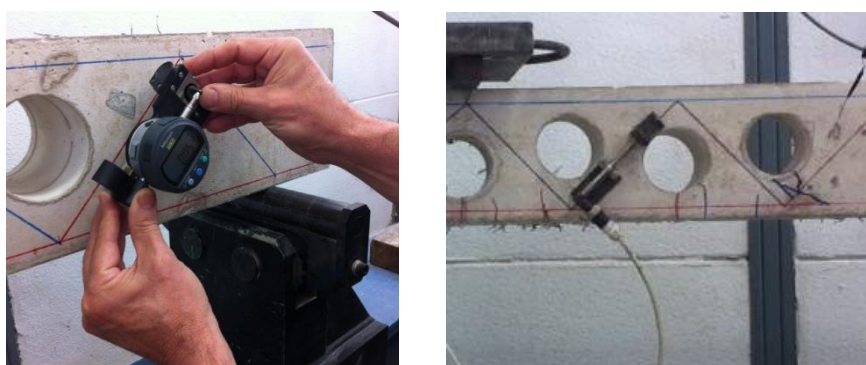
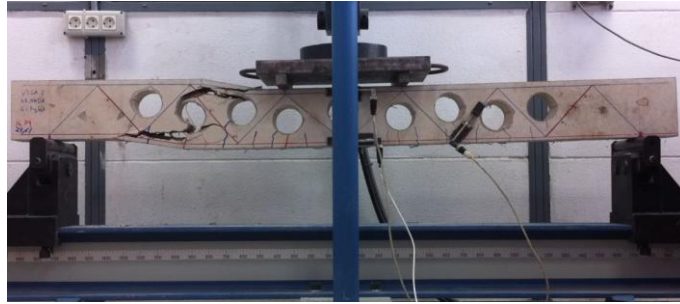


Imagen 4. 75 Medición inicial DEMEC y colocación captador de tracción



Se continúa el ensayo hasta la rotura total de la viga y se anotan los resultados.



**Imagen 4. 76 Ensayo a flexión viga aligerada**



## *5. Análisis de resultados*



## 5.1. Introducción

A continuación se exponen los resultados obtenidos en los diferentes ensayos a los que el hormigón y el acero han sido sometidos, en un primer lugar se ensaya el acero para ver los resultados característicos de éste, y a continuación se expondrán los resultados de ensayos en hormigón en estado fresco y hormigón estado endurecido, tanto en vigas aligeradas como en las pruebas de promotor de adherencia liquido y sólido.

## 5.2. Ensayo de acero

Para la fabricación de las vigas se utilizaron distintos suministradores de acero, a continuación se exponen los resultados de cada tipo distinto suministrado por diámetro.

### Suministrador 1:

#### **Barra $\varnothing 8$**

Datos de la muestra:

Longitud: 60,9 cm

Masa: 234,6 g

Densidad acero: 7.85 g/cm<sup>3</sup>

$\varnothing = 234,6 / (7.85 \times 60,9) = 0,491$

$\varnothing_{nom} = \pi \times r^2 = 50,2644$

Tolerancia:  $50,264 \times 0,945 = 47,50$

Datos ensayo:

Fuerza: 33,217 KN

Resistencia: 660,8 Mpa

Módulo de elasticidad: 214203 Mpa

Limite elástico:

Inf: 575,4

Sup: 581,4

Conv: 584,6

Resultados

#### Alargamiento de Rotura

Datos: 49,2 mm ; 49,2 mm      Media : 49,2 mm

$A_g = (49,2 - 40) / 40 \times 100 = 23 \%$

#### Alargamiento Bajo carga máxima

Datos: 173,5 mm ; 173.5 mm      Media: 173,5 mm

$A_l = (173,5 - 160 / 160) \times 100 = 8,438 \%$

$R_m = (637,4 / 2000) \times 100 = 0,33 \%$

$A_{gt} = A_l + R_m = 8,438 + 0,33 = 8,768 \%$

**Barra ø6**

Muestra 1

Datos de la muestra:

Longitud: 60,7 cm

Masa: 130,2 g

Densidad acero: 7.85 g/cm<sup>3</sup> $\emptyset = 130,2 / (7.85 \times 60,7) = 0,273$  $\emptyset_{nom} = \pi \times r^2 = 28,274$ 

Tolerancia: 28,274 x 0,945 = 26,72

Datos ensayo:

Fuerza: 18,27 KN

Resistencia: 646,1 Mpa

Modulo de elasticidad: 189315

Limite elástico:

Inf: 560,2

Sup: 564

Conv: 562,8

Resultados

Alargamiento de Rotura

Datos: 37,3 mm ; 37,1 mm    Media : 37,2 mm

 $A_g = (37,2 - 30) / 30 \times 100 = 24,00 \%$ Alargamiento Bajo carga máxima

Datos: 160,5 mm ; 161,5 mm    Media: 161 mm

 $A_l = (161 - 150 / 150) \times 100 = 7,33 \%$  $R_m = (646,1 / 200000) \times 100 = 0,32\%$  $A_{gt} = A_l + R_m = 7,33 + 0,32 = 7,65 \%$

Suministrador 2:**Barra  $\varnothing 8$** 

## Muestra 1

## Datos de la muestra:

Longitud: 60,7 cm

Masa: 237 g

Densidad acero: 7.85 g/cm<sup>3</sup> $\varnothing = 237 / (7.85 \times 60,7) = 0,497$  $\varnothing_{nom} = \pi \times r^2 = 50,264$ 

Tolerancia: 50,264 x 0,945 = 47,50

## Datos ensayo:

Fuerza: 31,42 KN

Resistencia: 620Mpa

Alargamiento bajo carga máxima : 35,13%

Módulo de elasticidad: 214203 MPa

## Limite elástico:

Inf: 543,2

Sup: 625,1

Conv: 586,65

## Resultados

Alargamiento de Rotura

Datos: 52,9mm ; 52,3 mm    Media : 52,6mm

 $A_g = (52,6 - 40) / 40 \times 100 = 31,500 \%$ Alargamiento Bajo carga máxima

Datos: 180 mm ; 182 mm    Media: 181 mm

 $A_l = (181 - 160 / 160) \times 100 = 13,125\%$  $R_m = (635,9 / 2000) \times 100 = 0,318\%$  $A_{gt} = A_l + R_m = 13,125 + 0,318 = 13,44\%$ 

**Barra ø6**

## Muestra 1

## Datos de la muestra:

Longitud: 60,7 cm

Masa: 130,2 g

Densidad acero: 7.85 g/cm<sup>3</sup>

$$\emptyset = 130,2 / (7.85 \times 60,7) = 0,273$$

$$\emptyset_{nom} = \pi \times r^2 = 28,274$$

$$\text{Tolerancia: } 28,274 \times 0,945 = 26,72$$

## Datos ensayo:

Fuerza: 18,629 KN

Resistencia: 658,9 Mpa

Modulo de elasticidad: 189315

## Limite elástico:

Inf: 577,5

Sup: 581,8

Conv: 579,7

## Resultados

Alargamiento de Rotura

Datos: 37,45 mm ; 37,45 mm    Media : 37,45 mm

$$Ag = (37,45 - 30) / 30 \times 100 = 24,83 \%$$

Alargamiento Bajo carga máxima

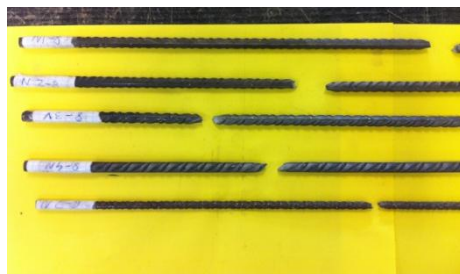
Datos: 163 mm ; 163 mm    Media: 163 mm

$$Al = (163 - 150 / 150) \times 100 = 8,667 \%$$

$$Rm = (658,9 / 200000) \times 100 = 0,329\%$$

$$Agt = Al + Rm = 10,625 + 0,319 = 8,996 \%$$

Dado que los valores de alargamiento bajo carga máxima son distintos, el valor escogido será el medido en laboratorio.





### 5.3. Ensayos estado fresco hormigón

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las distintas amasadas para la realización de las vigas aligeradas, y el estudio de promotor de adherencia líquido y sólido. Dado el elevado número de amasadas se ha optado por ordenar los ensayos según la cantidad de fibras aportada para cada amasada, con los distintos valores que tenemos en el estudio.

Para la realización de los distintos ensayos se ha seguido la norma UNE-12350 y EHE-08 Anejo 17. tal como se especifica en el apartado 4 Metodología – Ensayos de hormigón estado fresco

- **Hormigón inicial Sin fibras (Viga 1)**

Material	Ud.	Cant.			Coef. Bloqueo (mm)				
Cemento	Kg	325		Escurrem. Sin fibras	Japones sin fibras	H <sub>1</sub>	110	H <sub>5</sub>	105
Agua	L	195				H <sub>2</sub>	110	H <sub>6</sub>	105
Finos	Kg	18,5	∅1 (mm)	690	650	H <sub>3</sub>	110	H <sub>7</sub>	105
Arena 0/2	Kg	517	∅2 (mm)	695	640	H <sub>4</sub>	110	H <sub>8</sub>	105
Arena 0/4	Kg	757	∅ df (mm)	692,5	645	CbE%		13,6%	
Grava 4/12,5	Kg	553,9							
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225							
Fibras T60	Kg	-							
Relación a/c		0,6							

ENSAYOS FRESCO					
Escurreimiento		Japones		V	
T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)	
SIN FIBRA	3,5	693	13,64%	645	7,5
CON FIBRA	-	-	-	-	-
RANGO EHE-08 Sin fibra	T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20
Aire ocluido (%)	2,8				



Todos los resultados cumplen con los rangos admisibles que la EHE-08 especifica.

No se aprecia exudación ni segregación.

• Hormigón inicial Sin fibras (Viga 6)

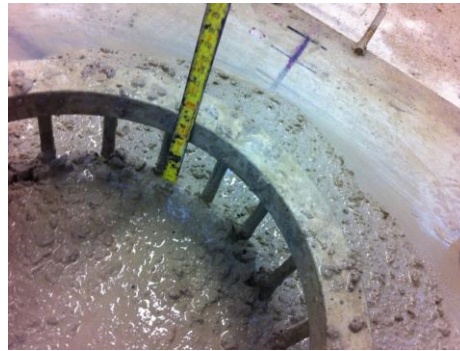
Dosificación					Coef. Bloqueo (mm)						
Material	Ud.	Cant.		Escurrem. Sin fibras	Japones sin fibras	H <sub>1</sub>	110	H <sub>5</sub>	105		
Cemento	Kg	325	∅1 (mm)	675	650	H <sub>2</sub>	110	H <sub>6</sub>	103		
Agua	L	195	∅2 (mm)	695	640	H <sub>3</sub>	110	H <sub>7</sub>	103		
Finos	Kg	18,5	∅ df (mm)	685	645	H <sub>4</sub>	110	H <sub>8</sub>	105		
Arena 0/2	Kg	517								CbE%	14,5%
Arena 0/4	Kg	757									
Grava 4/12,5	Kg	553,9									
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225									
Fibras T60	Kg	-									
Relación a/c		0,6									

ENSAYOS FRESCO					
Escurreimiento		Japones		V	
T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)	
SIN FIBRA	4	685	14,55%	645	7
CON FIBRA	-	-	-	-	-
RANGO EHE-08 Sin fibra	T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20

Aire ocluido (%)	2,8
------------------	-----



- E  
I  
ensayo de  
escurreimiento  
esta dentro  
del

- rango admisible
- Se puede observar una leve exudación en ambos ensayos.

• **Hormigón con 6,2 Kg Fibra T 60 (viga 2)**

Material	Ud.	Cant.	Ecurrim. Sin fibras (mm)	Ecurrim. Con fibras (mm)	Japones con fibras (mm)	Coef.Bloqueo (mm)																																
						H <sub>1</sub>	110	H <sub>5</sub>	60																													
Cemento	Kg	325	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">ENSAYOS FRESCO</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Ecurrimiento</th> <th colspan="2">Japones</th> <th>V</th> </tr> <tr> <th>T<sub>50</sub> (s)</th> <th>∅df (mm)</th> <th>CbE (%)</th> <th>∅df (mm)</th> <th>Tv (s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SIN FIBRA</td> <td>3,5</td> <td>700</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>CON FIBRA</td> <td>5</td> <td>540</td> <td>56,59%</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>RANGO EHE-08 Sin fibra</td> <td>T&lt;8s</td> <td>550&lt;df&lt;850</td> <td>-</td> <td>djf&gt;df-50</td> <td>4&lt;Tv&lt;20</td> </tr> </tbody> </table>	ENSAYOS FRESCO					Ecurrimiento		Japones		V	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)	SIN FIBRA	3,5	700	-	-	CON FIBRA	5	540	56,59%	14	RANGO EHE-08 Sin fibra	T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20	H <sub>2</sub>	110	H <sub>6</sub>	55
ENSAYOS FRESCO																																						
Ecurrimiento		Japones		V																																		
T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)		∅df (mm)	Tv (s)																																	
SIN FIBRA	3,5	700		-	-																																	
CON FIBRA	5	540	56,59%	14																																		
RANGO EHE-08 Sin fibra	T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20																																	
Agua	L	195	∅1	680	525	500	H <sub>3</sub>	110	H <sub>7</sub>	58																												
Finos	Kg	18,5	∅2	720	555	500	H <sub>4</sub>	110	H <sub>8</sub>	58																												
Arena 0/2	Kg	517	∅ df	700	540	500	CbE%		56,6%																													
Arena 0/4	Kg	757																																				
Grava 4/12,5	Kg	553,9																																				
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225																																				
Fibras T60	Kg	6,2																																				
Relación a/c		0,6																																				
			Aire ocluido (%)				1,60%																															

Todos los

resultados cumplen con los rangos admisibles que la EHE-08 establece.



- No se aprecia exudación ni segregación
- Al añadir fibras observamos que la masa de hormigón disminuye su fluidez y su trabajabilidad
- En el anillo japonés podemos apreciar como las barras retienen el conjunto de la masa por el contenido de fibras.

• **Hormigón con 6,2 Kg Fibra T 60 y promotor de adh. 1% Líquido y 1% Sólido**

Material	Ud.	6,2 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor	Kg	3,25
Relación a/c		0,6

1% Liq		Escurrim. Sin fibras	Escurrim. Con fibras
	∅1 (mm)	720	550
	∅2 (mm)	730	560
	∅ df (mm)	725	555

1% Liq	ENSAYOS FRESCO	
	Escurrencimiento	
	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)
	SIN FIBRA	3      725
CON FIBRA	4      555	
RANGO EHE-08	T<8s      550<df<850	



Se observa una ligera exudación en una zona de la torta, al añadir las fibras estas disminuyen la fluidez, y en este caso la exudación desaparece.

1% Sol.		Escurrim. Sin fibras	Escurrim. Con fibras
	∅1 (mm)	780	720
	∅2 (mm)	750	680
	∅ df (mm)	765	700

1% Sol.	ENSAYOS FRESCO	
	Escurrencimiento	
	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)
	SIN FIBRA	3      765
CON FIBRA	5      700	
RANGO EHE-08	T<8s      550<df<850	



Se observa una ligera exudación, tanto en la torta sin fibras como en la que contiene fibras, al añadir fibras se ha producido una leve segregación los resultados son admisibles respecto a EHE-08.

• **Hormigón con 6,2 Kg Fibra T 60 y promotor de adh. 2% Líquido y 2% Sólido**

Dosificación		
Material	Ud.	6,2 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

2% Liq	Escurrim.	Escurrim.
	Sin fibras	Con fibras
ø1 (mm)	700	550
ø2 (mm)	700	580
ø df (mm)	700	565

2% Liq	ENSAYOS FRESCO	
	Escurrimiento	
	T <sub>50</sub> (s)	ødf (mm)
SIN FIBRA	3	700
CON FIBRA	4	565
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850



Se observa una leve exudación en dos zonas de la torta, podría ser debido al exceso de humedad en la placa base.

2% Sol.	Escurrim. Sin fibras	Escurrim. Con fibras	2% Sol.	ENSAYOS FRESCO	
				Escurrimiento	
				T <sub>50</sub> (s)	ødf (mm)
ø1 (mm)	720	NULO	SIN FIBRA	3,5	730
ø2 (mm)	740	NULO	CON FIBRA	NULO	NULO
ø df (mm)	730	NULO	RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850



La exudación es debida al exceso de humedad de la placa base, no se aprecia segregación en el contenido de la masa

• **Hormigón con 9 Kg Fibra T 60 (viga 3) (sin adherente)**

Dosificación										
Material	Ud.	Cant.								
Cemento	Kg	325	Escurrem. Sin fibras (mm)	Escurrem. Con fibras (mm)	Japones con fibras (mm)	Coef. Bloqueo (mm)				
Agua	L	195				H <sub>1</sub>	115	H <sub>5</sub>	60	
Finos	Kg	18,5	∅1	660	595	430	H <sub>2</sub>	115	H <sub>6</sub>	60
Arena 0/2	Kg	517	∅2	680	575	400	H <sub>3</sub>	110	H <sub>7</sub>	55
Arena 0/4	Kg	757	∅ df	670	585	415	H <sub>4</sub>	115	H <sub>8</sub>	60
Grava 4/12,5	Kg	553,9					CbE%		53,9%	
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225	ENSAYOS FRESCO							
Fibras T60	Kg	9	Escurreimiento		Japones		V			
Relación a/c	0,6		T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)			
SIN FIBRA			4	670	-	-	-			
CON FIBRA			5	585	58,25%	415	NULO			
RANGO EHE-08 Sin fibra			T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20			
Aire ocluido (%)			2,20%							

-No se aprecia exudación ni segregación en ninguno de los ensayos



- La cantidad de 9kg de fibras empieza a ser importante, disminuye en exceso la trabajabilidad y la fluidez, llegando a ser el ensayo de embudo en V nulo.

- **Hormigón con 9 Kg Fibra T 60 (viga 5) (sin adherente)**

Dosificación			Ecurrim. Sin fibras (mm)	Ecurrim. Con fibras (mm)	Japones con fibras (mm)	Coef.Bloqueo (mm)								
Material	Ud.	Cant.				H <sub>1</sub>	115	H <sub>5</sub>	60					
Cemento	Kg	325	∅1	650	500	425	H <sub>2</sub>	115	H <sub>6</sub>	60				
Agua	L	195					∅2	670	450	400	H <sub>3</sub>	110	H <sub>7</sub>	55
Finos	Kg	18,5					∅df	660	475	412,5	H <sub>4</sub>	115	H <sub>8</sub>	60
Arena 0/2	Kg	517					CbE%		53,9%					
Arena 0/4	Kg	757												
Grava 4/12,5	Kg	553,9												
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225	ENSAYOS FRESCO											
Fibras T60	Kg	9	Ecurrimiento		Japones		V							
Relación a/c	0,6		T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)							
SIN FIBRA			3,2	660	-	-	-							
CON FIBRA			5	475	53,90%	412,5	NULO							
RANGO EHE-08 Sin fibra			T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20							
Aire ocluido (%)			2,6											



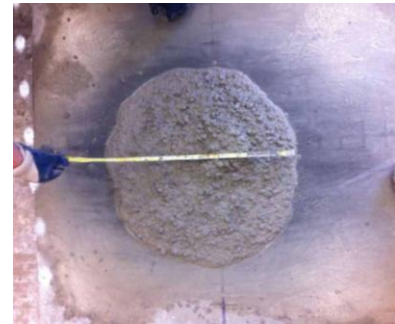
- No se aprecia exudación ni segregación en ninguno de los tres ensayos.
- Se puede observar como la cantidad de fibras 9kg disminuye la fluidez y la trabajabilidad de la masa.

• **Hormigón con 9 Kg Fibra T 60 y promotor de adh. 1% Líquido y 1% Sólido**

Dosificación		
Material	Ud.	9 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor	Kg	3,25
Relación a/c		0,6

1% Liq	Escurrem. Sin fibras	Escurrem. Con fibras
∅1 (mm)	700	NULO
∅2 (mm)	680	NULO
∅ df (mm)	690	NULO

1% Liq	ENSAYOS FRESCO	
	Escurreimiento	
	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)
SIN FIBRA	3	690
CON FIBRA	NULO	NULO
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850



- No hay existencia de exudación ni segregación, los valores son admisibles.

1% Sol.	Escurrem. Sin fibras	Escurrem. Con fibras	1% Sol.	ENSAYOS FRESCO	
				Escurreimiento	
				T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)
∅1 (mm)	730	580	SIN FIBRA	4	730
∅2 (mm)	730	580	CON FIBRA	4,5	580
∅ df (mm)	730	580	RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850



- Se puede observar una leve exudación en los dos ensayos, y una leve segregación producida por las fibras.



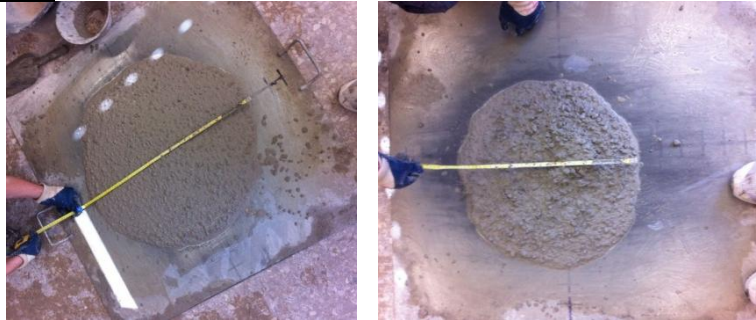
• **Hormigón con 9 Kg Fibra T 60 y promotor de adh. 2% Líquido y 2% Sólido**

Dosificación		
Material	Ud.	9 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	9
Promotor	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

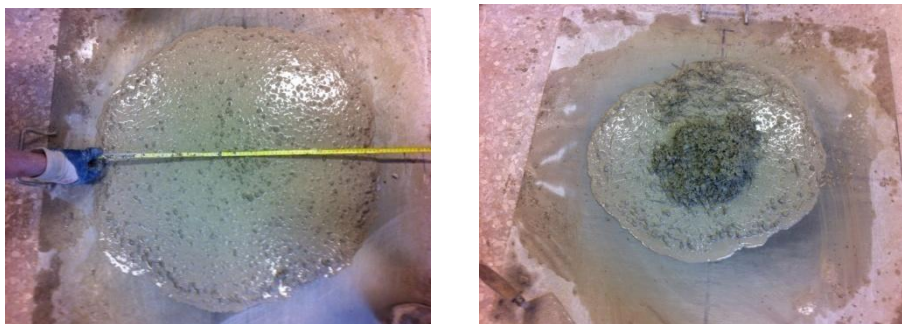
2% Liq	Escurrim. Sin fibras	Escurrim. Con fibras
∅1 (mm)	680	NULO
∅2 (mm)	670	NULO
∅ df (mm)	675	NULO

2% Liq	ENSAYOS FRESCO	
	Escurrecimiento	
	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)
SIN FIBRA	3,5	675
CON FIBRA	NULO	NULO
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850

El ensayo de escurrecimiento es correcto  
La cantidad de fibras es alta y se puede observar la falta de fluidez de la masa.



2% Sol.	Escurrecimiento		2% Sol.	ENSAYOS FRESCO	
	Sin fibras	Con fibras		Escurrecimiento	
				T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)
∅1 (mm)	700	600	SIN FIBRA	3,3	710
∅2 (mm)	720	600	CON FIBRA	5	600
∅ df (mm)	710	600	RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850



En el ensayo de escurrecimiento es correcto pero la masa exuda levemente.  
La cantidad de fibras es alta y se puede observar la falta de fluidez de la masa y la acumulación de las fibras en el centro

• **Hormigón con 12,4 Kg Fibra T 60 (viga 4) (sin adherente)**

Dosificación		
Material	Ud.	Cant.
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	12,4
Relación a/c		0,6

	Escurrem. Sin fibras	Escurrem. Con fibras	Japones con fibras
Ø1 (mm)	700	NULO	NULO
Ø2 (mm)	720	NULO	NULO
Ø df (mm)	710	NULO	NULO

ENSAYOS FRESCO					
Escurreimiento		Japones		V	
T <sub>50</sub> (s)	Ødf (mm)	CbE (%)	Ødf (mm)	Tv (s)	
SIN FIBRA	3	710	-	-	-
CON FIBRA	NULO	NULO	NULO	NULO	NULO
RANGO EHE-08 Sin fibra	T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20
Aire ocluido (%)	2,4				



- El ensayo de escurrimiento sin fibras esta dentro del rango admisible, con una leve exudación.
- El ensayo de escurrimiento con fibras es nulo, la cantidad de fibras 12,4 kg es excesiva para el hormigón autocompactante, no fluye lo suficiente, dado este resultado no se realiza el ensayo de anillo japonés

- **Hormigón con 12,4 Kg Fibra T 60 y promotor de adh. 1% Líquido y 1% Sólido**

Dosificación		
Material	Ud.	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor	Kg	3,25
Relación a/c		0,6

1% Liq	Escurrem. Sin fibras	Escurrem. Con fibras
Ø1 (mm)	700	NULO
Ø2 (mm)	720	NULO
Ø df (mm)	710	NULO

1% Liq	ENSAYOS FRESCO	
	Escurremient	
	T <sub>50</sub> (s)	Ødf (mm)
SIN FIBRA	3,5	710
CON FIBRA	NULO	NULO
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850

El ensayo de escurremient sin fibras es correcto con valores óptimos del hormigón autocompactante, sin exudación y segregación.



Se puede observar como con 12,4 kg de fibras es inviable, el hormigón no fluye prácticamente nada en la placa.

1% Sol.	Escurrem. Sin fibras	Escurrem. Con fibras	1% Sol.	ENSAYOS FRESCO	
				Escurremient	
				T <sub>50</sub> (s)	Ødf (mm)
Ø1 (mm)	660	NULO	SIN FIBRA	3,5	665
Ø2 (mm)	670	NULO	CON FIBRA	NULO	NULO
Ø df (mm)	665	NULO	RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850



El ensayo de escurremient es correcto no se aprecia segregación ni exudación. La incorporación de 12,4 kg de fibras no permite fluir la masa, obteniendo valores nulos.

• **Hormigón con 12,4 Kg Fibra T 60 y promotor de adh. 2% Líquido y 2% Sólido**

Dosificación		
Material	Ud.	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

2% Liq	Escurrim.	Escurrim.
	Sin fibras	Con fibras
Ø1 (mm)	650	NULO
Ø2 (mm)	650	NULO
Ø df (mm)	650	NULO

2% Liq	ENSAYOS FRESCO	
	Escurrimiento	
	T <sub>50</sub> (s)	Ødf (mm)
SIN FIBRA	4	650
CON FIBRA	NULO	NULO
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850



Se puede observar valores admisibles en ensayo de escurrimiento sin fibras, pero la incorporación de 12,4 kg de fibras no permite fluir la masa de hormigón.

2% Sol.	Escurrim.	Escurrim.	2% Sol.	ENSAYOS FRESCO	
	Sin fibras	Con fibras		T <sub>50</sub> (s)	Ødf (mm)
Ø1 (mm)	680	NULO	SIN FIBRA	3,5	700
Ø2 (mm)	720	NULO	CON FIBRA	NULO	NULO
Ø df (mm)	700	NULO	RANGO EHE-0	T<8s	550<df<850



Observamos un ensayo de escurrimiento admisible, con una ligera exudación. El ensayo con 12,4 kg de fibras es nulo, puesto que estas no permiten a la masa fluir lo suficiente.

- **Hormigón con 24 Kg Fibra T 60 (viga 7) (sin adherente)**

Dosificación		
Material	Ud.	Cant.
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	24
Relación a/c		0,6

	Escurrem. Sin fibras	Escurrem. Con fibras	Japones con fibras
∅1 (mm)	690	NULO	NULO
∅2 (mm)	700	NULO	NULO
∅ df (mm)	695	NULO	NULO

ENSAYOS FRESCO					
Escurreimiento		Japones		V	
T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)	
SIN FIBRA	4	695	-	-	-
CON FIBRA	NULO	NULO	NULO	NULO	NULO
RANGO EHE-08 Sin fibra	T<8s	550<df<850	-	dj>df-50	4<Tv<20
Aire ocluido (%)	2,6				



Se observa un ensayo de escurrimiento con valores admisibles, el ensayo con 24 kg de fibras no se realiza puesto que la masa no tiene ninguna fluidez en la hormigonera, y se decide no hacerlo por los técnicos.

## **5.4 Ensayos estado endurecido**

### **5.4.1 Introducción**

Tras 28 días de curado, se realizan los ensayos en estado endurecido del hormigón, a probetas y vigas.

Para ello resumiremos los resultados obtenidos en tablas, según el tipo de ensayo, y seguidamente mediante graficas realizamos un análisis más detallado de cada tipo de viga y datos obtenidos en los respectivos ensayos a probetas, finalizando con el análisis de promotor de adherencia.

Los ensayos realizados son cuatro, tal y como es comentado en el apartado 3 programa experimental y el proceso descrito en el apartado 4 metodología de trabajo.

Las graficas resultantes están obtenidas mediante los datos que el ordenador del laboratorio nos ofrece tras los ensayos. Dichas graficas son analizadas para estudiar el comportamiento mediante los resultado y los valores de los captadores, captadores de flecha y abertura de fisura en flexión, un captador deformación en compresión y anillos de deformación en ensayo a deformación de compresión.

Para las vigas hemos realizado un ensayo de flexo tracción a cuatro puntos con un incremento de carga constante en el tiempo. Para obtener datos numéricos del ensayo fijamos a la viga tres captadores de medición de deslizamiento conectados a su vez a la máquina de ensayo. Estos captadores se sitúan en centro de vano en la zona comprimida, en centro de vano en la zona traccionada y en una zona intermedia entre la zona de aplicación de cargas y los apoyos para analizar el cortante.

Para el análisis del estudio de promotor de adherencia, se analiza cada tipología de amasada por separado de flexión y compresión y tras éstas, una comparativa según los distintos kilogramos de fibras, seleccionando la probeta con valores más óptimos en cada amasada.

### 5.4.2 Resultados ensayo compresión

	RESULTADOS COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS			
		Fuerza (KN)	Resistencia (Mpa)	DEFORMACIÓN
6,2 fibras	Probeta 1	626,1	35,429	0,978
	Probeta 2	231,4	35,493	0,943
6,2 fibras 1%L	Probeta 1	663,2	37,531	1,143
	Probeta 2	646,3	36,57	1,213
6,2 fibras 2%L	Probeta 1	690,5	39,077	1,14
	Probeta 2	693,6	39,251	0,959
9 fibras	Probeta 1	672,2	38,038	0,759
	Probeta 2	699,2	37,869	1,17
9 fibras 1%L	Probeta 1	688,3	38,95	0,612
	Probeta 2	710	40,178	0,832
9 fibras 2%L	Probeta 1	757,9	42,887	0,818
	Probeta 2	720,7	40,782	0,245
12 fibras	Probeta 1	711	40,232	0,53
	Probeta 2	730,9	41,359	0,883
12 fibras 1%L	Probeta 1	504,2	36,21	0,755
	Probeta 2	634,7	35,918	1,323
12 fibras 2%L	Probeta 1	662,5	37,491	0,688
	Probeta 2	670	38,028	1,347
6,2 fibras 1%SO	Probeta 1	765,9	47,342	1,242
	Probeta 2	758,2	42,908	0,703
6,2 fibras 2%SO	Probeta 1	917	51,938	0,81
	Probeta 2	906,2	51,278	0,994
9 fibras 1%SO	Probeta 1	794,3	44,947	1,077
	Probeta 2	802,5	45,413	0,967
9 fibras 2%SO	Probeta 1	874	49,458	0,65
	Probeta 2	840,6	47,57	1,022
12 fibras 1%SO	Probeta 1	936,7	53,008	1,037
	Probeta 2	924	52,29	0,99
12 fibras 1%SO	Probeta 1	872,4	49,366	0,917
	Probeta 2	847,6	47,962	0,966
24 KG FIBRAS	Probeta 1	599,6	32,929	1,127
	Probeta 2	567,1	32,093	1,112

RESULTADOS COMPRESIÓN PROBETAS PRISMÁTICAS			
		FUERZA (KN)	RESISTENCIA(Mpa)
6,2 fibras	Probeta 1	388,3	38,83
	Probeta 1.1	404,1	40,41
	Probeta 2.1	392,4	39,24
	Probeta 2.2	398	39,8
6,2 fibras 1%L	Probeta 1	410,1	41,01
	Probeta 1.1	381,7	38,17
	Probeta 2.1	303,3	30,33
	Probeta 2.2	335,6	33,56
6,2 fibras 2%L	Probeta 1	335,8	33,58
	Probeta 1.1	335,2	33,52
	Probeta 2.1	346,2	34,62
	Probeta 2.2	300,9	30,09
9 fibras	Probeta 1	355,4	35,54
	Probeta 1.1	404,9	40,49
	Probeta 2.1	360,4	36,04
	Probeta 2.2	365,8	36,58
9 fibras 1%L	Probeta 1	361,9	36,19
	Probeta 1.1	371,3	37,13
	Probeta 2.1	426,2	42,62
	Probeta 2.2	422,2	42,22
9 fibras 2%L	Probeta 1	416,1	41,61
	Probeta 1.1	358,7	35,87
	Probeta 2.1	393,7	39,37
	Probeta 2.2	373,6	37,36
12,4 fibras	Probeta 1	430,4	43,04
	Probeta 1.1	440,2	44,02
	Probeta 2.1	435,5	43,55
	Probeta 2.2	437,4	43,74
12,4 fibras 1%L	Probeta 1	407,1	40,71
	Probeta 1.1	338,8	33,88
	Probeta 2.1	381,4	38,14
	Probeta 2.2	414,6	41,46
12,4 fibras 2%L	Probeta 1	430,6	43,06
	Probeta 1.1	429,5	42,95
	Probeta 2.1	399,9	39,99
	Probeta 2.2	379	37,9



RESULTADOS COMPRESIÓN PROBETAS PRISMÁTICAS			
		FUERZA (KN)	RESISTENCIA(Mpa)
6,2 fibras 1%SO	Probeta 1	449,3	44,93
	Probeta 1.1	405,5	40,55
	Probeta 2.1	428,1	42,81
	Probeta 2.2	402,4	40,24
6,2 fibras 2%SO	Probeta 1	496,1	49,61
	Probeta 1.1	493,3	49,33
	Probeta 2.1	457,5	45,75
	Probeta 2.2	468,1	46,81
9 fibras 1%SO	Probeta 1	459,2	45,92
	Probeta 1.1	446,2	44,62
	Probeta 2.1	461	46,1
	Probeta 2.2	465	46,5
9 fibras 2%SO	Probeta 1	500,7	50,07
	Probeta 1.1	415,5	41,55
	Probeta 2.1	455,2	45,52
	Probeta 2.2	474,8	47,48
12,4 fibras 1%SO	Probeta 1	529,9	52,99
	Probeta 1.1	503,3	50,33
	Probeta 2.1	463,5	46,35
	Probeta 2.2	472,3	47,23
12,4 fibras 1%SO	Probeta 1	473,1	47,31
	Probeta 1.1	505,9	50,59
	Probeta 2.1	463,1	46,31
	Probeta 2.2	442,2	44,22
24 KG	Probeta 1	342,4	34,24
	Probeta 1.1	320,7	32,07
	Probeta 2.1	344,1	34,41
	Probeta 2.2	330,6	33,06

### 5.4.3 Resultados ensayo flexión

RESULTADOS FLEXIÓN PROBETAS PRISMÁTICAS					
		Fuerza (KN)	Resistencia (Mpa)	WA 50 mm	10 mm
6,2 fibras	Probeta 1	8,24	4,57	48,21	9,44
	Probeta 2	8,99	4,99	42,84	9,01
6,2 fibras 1%L	Probeta 1	7,64	4,244	44,088	10,105
	Probeta 2	8,02	4,45	36,105	6,864
6,2 fibras 2%L	Probeta 1	8,25	4,58	38,837	9,618
	Probeta 2	7,68	4,267	38,149	9,015
9 fibras	Probeta 1	9,75	5,417	51,1	20,15
	Probeta 2	11,46	6,37	51,108	20,382
9 fibras 1%L	Probeta 1	7,38	4,1	37,263	7,822
	Probeta 2	10,7	5,949	36,936	6,842
9 fibras 2%L	Probeta 1	10,98	6,1	49,33	10,121
	Probeta 2	10,17	5,65	46,518	10,115
12 fibras	Probeta 1	11,18	6,221	51,107	10,11
	Probeta 2	9,72	5,4	47,135	10,1
12,4 fibras 1%L	Probeta 1	8,909	4,949	30,228	2,252
	Probeta 2	11,17	6,2	51,108	10,186
12,4 fibras 2%L	Probeta 1	13,953	7,752	39,021	10,176
	Probeta 2	12,044	6,6191	38,216	10,165
6,2 fibras 1%SO	Probeta 1	10,667	5,893	36,717	10,171
	Probeta 2	10,144	5,636	35,338	10,159
6,2 fibras 2%SO	Probeta 1	10,157	5,643	35,812	8,93
	Probeta 2	10,252	5,696	35,414	6,754
9 fibras 1%SO	Probeta 1	9,343	5,191	36,076	10,17
	Probeta 2	10,193	5,663	34,48	10,087
9 fibras 2%SO	Probeta 1	10,178	5,599	39,145	10,146
	Probeta 2	9,582	5,323	33,09	6,65
12,4 fibras 1%SO	Probeta 1	11,097	6,165	37,404	10,149
	Probeta 2	10,315	5,731	32,551	6,151
12,4 fibras 2%SO	Probeta 1	11,915	6,619	40,17	10,144
	Probeta 2	12,417	6,929	40,371	10,096
24 fibras	Probeta 1	8,6	4,778	51,108	10,115
	Probeta 2	15,9	8,833	47,832	10,104

### 5.4.3 Resultados ensayo deformación probetas cilíndricas

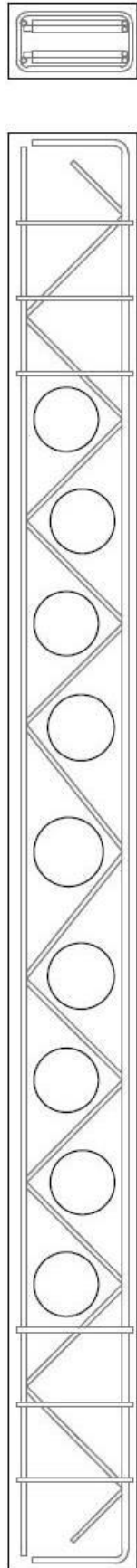
Ensayo de DEFORMACIÓN (Modulo de deformación)						
		Fuerza (KN)	Resist. (Mpa)	DEFORMACIÓN	Mod deform. Mpa	Probeta
6,2 fibras	Probeta 1	266,2	15,065	0,0899	27247	Ø1 151 Ø2 150 Altura 297 Peso 11,859
	Probeta 2	266,7	15,094	0,0836	27914	Ø1 151 Ø2 150 Altura 295 Peso 11,808
6,2 fibras 1%L	Probeta 1	263	14,885	0,081	29130	Ø1 150,4 Ø2 149 Altura 296,5 Peso 12,120
	Probeta 2	263,5	14,908	0,079	29519	Ø1 151,6 Ø2 149,5 Altura 299,1 Peso 12,180
6,2 fibras 2%L	Probeta 1	218,6	12,372	0,0619	31042	Ø1 150,7 Ø2 150,3 Altura 297,2 Peso 12,140
	Probeta 2	218,6	12,37	0,0624	31304	Ø1 149,5 Ø2 150 Altura 298,1 Peso 12180
9 fibras	Probeta 1	259,6	14,688	0,0751	29817	Ø1 150,8 Ø2 148,7 Altura 298,4 Peso 12,220
	Probeta 2	259,2	14,687	0,0729	30645	Ø1 150,1 Ø2 149,8 Altura 297,4 Peso 12,200
9 fibras 1%L	Probeta 1	262,9	14,875	0,0779	30446	Ø1 151,5 Ø2 148,5 Altura 298,1 Peso 12,020
	Probeta 2	263,6	14,914	0,0794	29723	Ø1 149,6 Ø2 150,5 Altura 293,1 Peso 11,920
9 fibras 2%L	Probeta 1	256,5	14,51	0,0788	29222	Ø1 149,6 Ø2 144,6 Altura 299,2 Peso 12,200
	Probeta 2	256,5	14,515	0,0799	29884	Ø1 149,6 Ø2 149,6 Altura 297,1 Peso 12,120

Ensayo de DEFORMACIÓN (Modulo de deformación)						
		Fuerza (KN)	Resist. (Mpa)	DEFORMACIÓN	Mod deform. Mpa	Probeta
12,4 fibras	Probeta 1	262,9	14,878	0,0719	32326	Ø1 152 Ø2 152 Altura 292 Peso 12,240
	Probeta 2	287,8	16,288	0,0884	30696	Ø1 155 Ø2 145 Altura 306 Peso 12,180
12,4 fibras 1%L	Probeta 1	256,9	14,539	0,0824	28892	Ø1 150 Ø2 149,8 Altura 298 Peso 12,04
	Probeta 2	257,4	14,564	0,0759	30999	Ø1 150,1 Ø2 150 Altura 295 Peso 12,020
12,4 fibras 2%L	Probeta 1	273,4	15,471	0,0833	29281	Ø1 14,95 Ø2 14,90 Altura 297 Peso 12,020
	Probeta 2	272,8	15,044	0,0818	30294	Ø1 150,9 Ø2 148,5 Altura 298,1 Peso 12,130
6,2 fibras 1%SO	Probeta 1	280,5	15,874	0,079	31279	Ø1 149,2 Ø2 149,8 Altura 298,1 Peso 12,040
	Probeta 2	280,2	15,856	0,0896	32176	Ø1 149,1 Ø2 151,6 Altura 299,1 Peso 12,040
6,2 fibras 2%SO	Probeta 1	280,2	15,856	0,0736	33740	Ø1 148,4 Ø2 149,6 Altura 298 Peso 12,440
	Probeta 2	280,5	15,873	0,0729	34173	Ø1 149,5 Ø2 149,6 Altura 298,1 Peso 12,520
9 fibras 1%SO	Probeta 1	304,6	17,237	0,0878	30639	Ø1 150 Ø2 150,2 Altura 295,1 Peso 12,026
	Probeta 2	304,7	17,243	0,0904	30146	Ø1 148,9 Ø2 150,2 Altura 295,8 Peso 12,024

Ensayo de DEFORMACIÓN (Modulo de deformación)						
		Fuerza (KN)	Resist. (Mpa)	DEFORMACIÓN	Mod deform. Mpa	Probeta
9 fibras 2%SO	Probeta 1	307,3	17,392	0,0852	31576	Ø1 148,9 Ø2 150,1 Altura 296,2 Peso 12,32
	Probeta 2	307,5	17,4	0,085	31102	Ø1 150,6 Ø2 150,2 Altura 296,1 Peso 12,380
12,4 fibras 1%SO	Probeta 1	328	18,479	,0,854	34030	Ø1 149,4 Ø2 148,9 Altura 295,2 Peso 12,240
	Probeta 2	327,7	18,545	0,0862	33931	Ø1 150 Ø2 150,1 Altura 294,5 Peso 12,740
12,4 fibras 2%SO	Probeta 1	313	17,736	0,089	31492	Ø1 148,2 Ø2 150,4 Altura 298,0 Peso 12,460
	Probeta 2	313,9	17,76	0,0836	33947	Ø1 150,0 Ø2 151,0 Altura 297 Peso 12,500
24 KG FIBRAS	Probeta 1	222,4	12,585	0,0718	27471	Ø1 150 Ø2 149,9 Altura 295,5 Peso 11,68
	Probeta 2	222,4	12,584	0,0735	27585	Ø1 151,6 Ø2 149 Altura 295,1 Peso 11,58

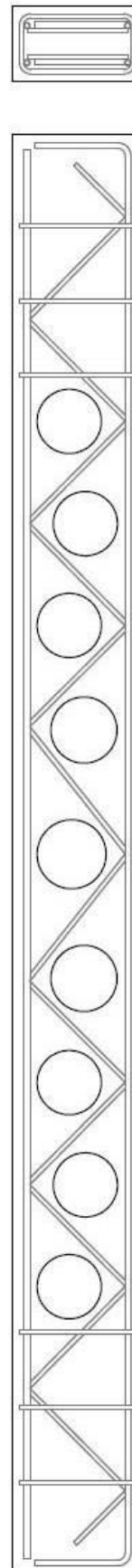
## 5.5 Análisis de resultados vigas aligeradas

### Viga armada



**Arm.Superior: 2 $\phi$ 8**  
 Estribos 3 $\phi$ 6/10  
 Diagonales: 2 $\phi$ 6  
 Arm.Inferior: 4 $\phi$ 8

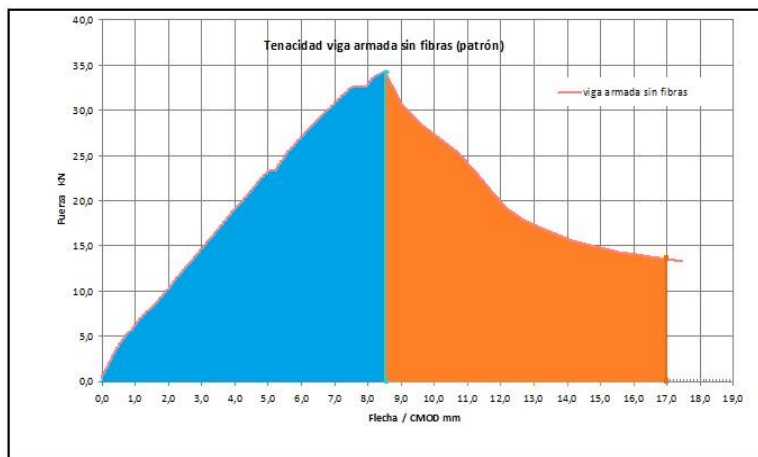
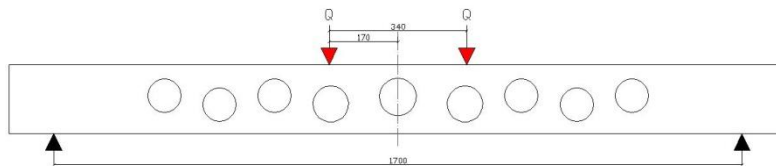
### Viga semiarmada



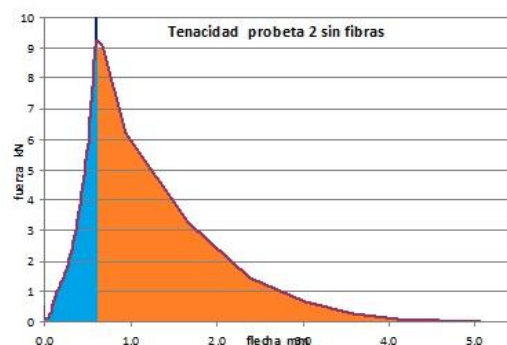
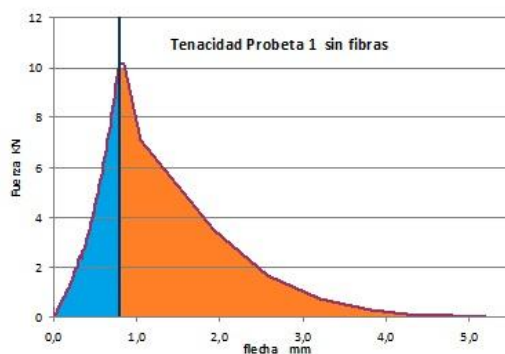
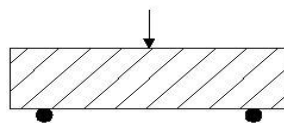
**Arm.Superior: 2 $\phi$ 8**  
 Estribos 3 $\phi$ 6/10  
 Diagonales: 2 $\phi$ 6  
 Arm.Inferior: 2 $\phi$ 8

### 5.5.1Viga tipo 1 (patrón) armado completo sin fibras

Esta va a ser nuestra viga armada patrón, es decir, la viga con un hormigón convencional sin fibras y con un armado convencional que nos servirá como referencia para estudiar los comportamientos de las sucesivas vigas.



Dosificación Kg/m3		
Material	Ud.	Cant.
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	-
Agua/CEM		0,6

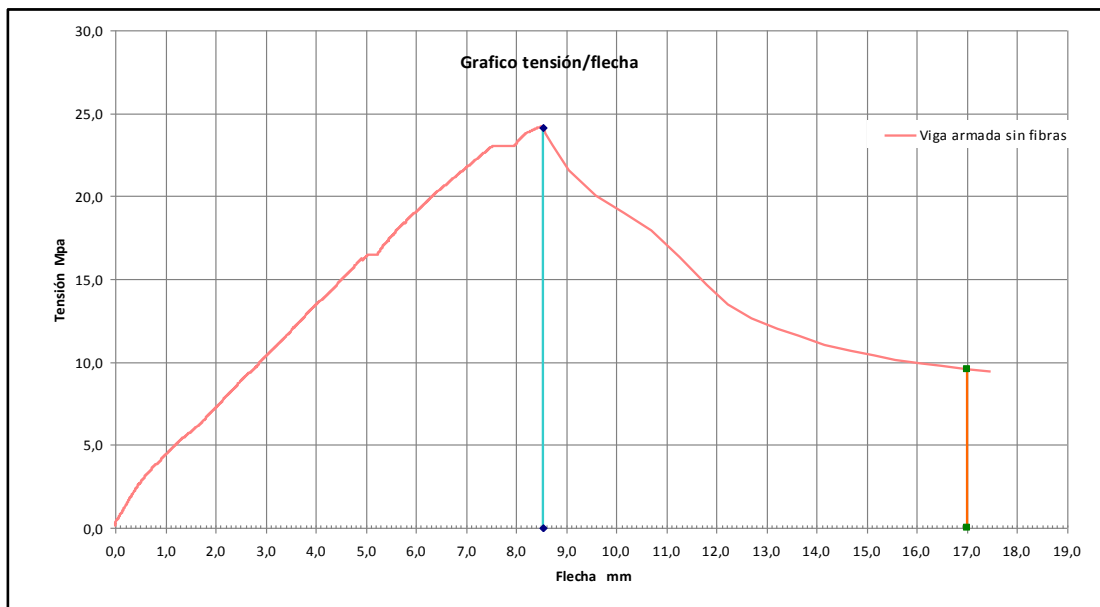


**Tenacidad del HAC sin fibras y de la viga patrón armada**

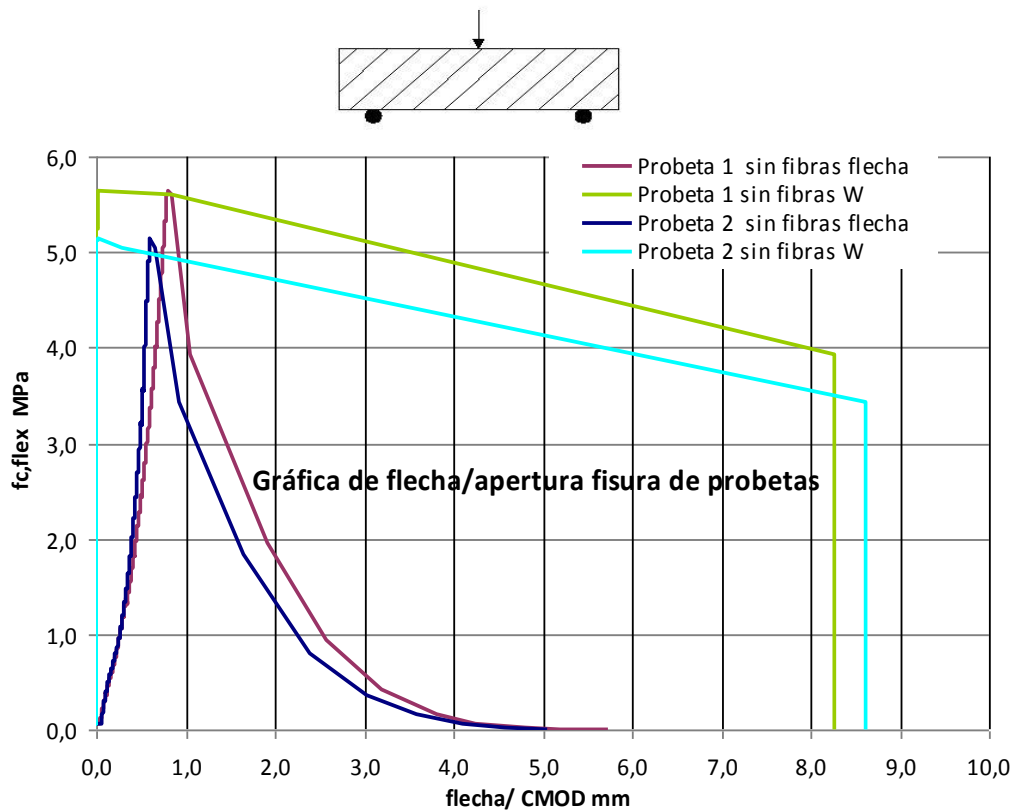
Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N·mm)	5212,40	3662,83	171228,521
ABLANDAMIENTO (N·mm)	0,00	0,00	0,00
ENDURECIMIENTO (N·mm)	0,00	0,00	0,00
POST ROTURA (N·mm)	9941,20	8820,41	176437,295
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N·mm)	15153,60	12483,24	347665,816
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N·mm)	507262,19	443611,70	X

En las gráficas de tenacidad de las probetas dentro de la misma amasada podemos observar que los niveles de deformación son muy similares, sin embargo, la probeta 1 tiene un índice de rotura de matriz algo mayor. Esto provoca que el área de la resiliencia aumente ligeramente por lo que la tenacidad es mayor.

Ante la tenacidad de la viga al no poseer fibras se puede ver claramente la zona diferenciada de la resiliencia hasta el punto de rotura con la siguiente caída de resistencia sin que tengamos en este caso ninguna zona de endurecimiento o de ablandamiento realmente importante por su comportamiento plástico que le darían las fibras en el caso de que las tuvieran. Toda la deformación producida después de la rotura de la matriz se debe al acero y su comportamiento.

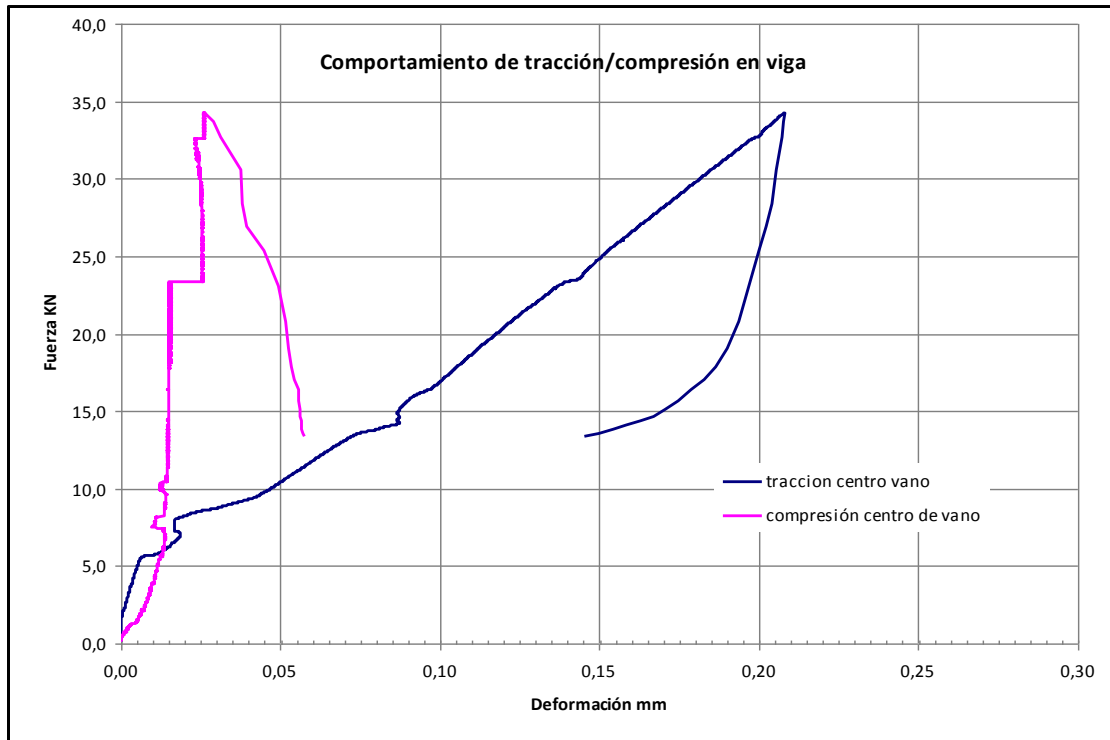




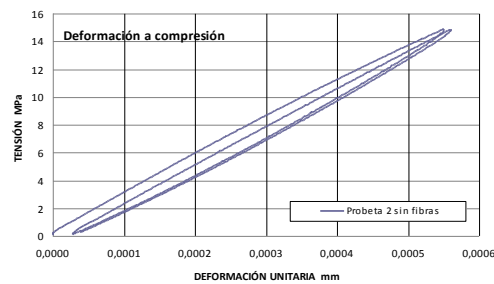
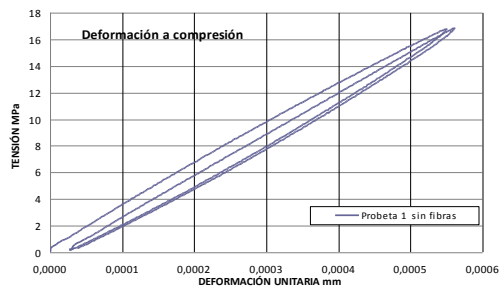


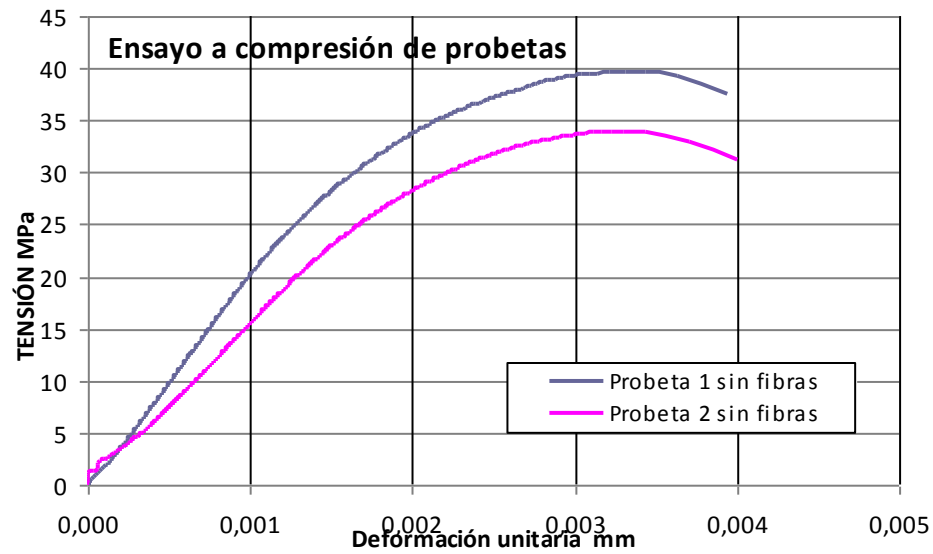
La fuerza en Kilonewton de máxima que soporta la viga según podemos ver en la gráfica es de 34,19 KN que coincide con el punto de rotura de la matriz del hormigón. A partir de ese momento la deformación siguiente se da por el comportamiento del acero llegando a una flecha de 17 mm.

El comportamiento mecánico de las probetas 1 y 2 de la misma amasada de hormigón sin fibras es muy similar con la única diferencia de que en la probeta 1 se obtiene un ligero pico más alto de resistencia. La forma de romper ambas probetas es la típica rotura frágil de un hormigón convencional sin fibras.



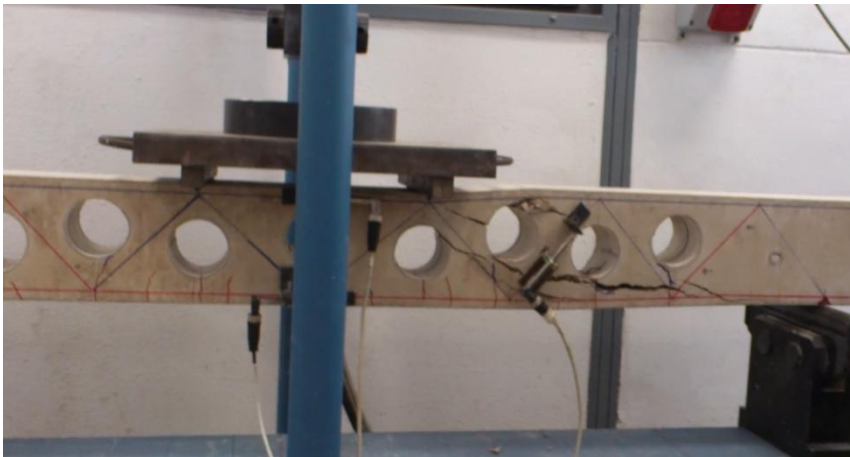
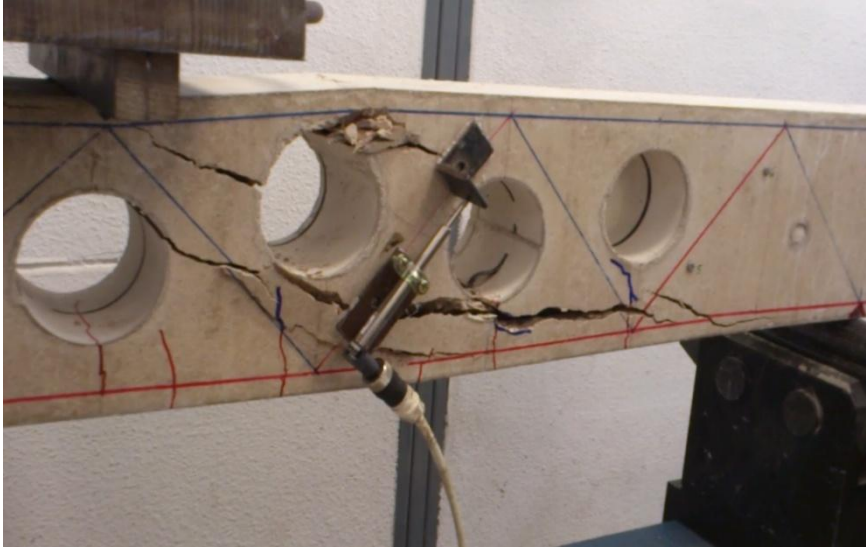
En la anterior gráfica están representadas las deformaciones en el centro de vano tanto en la cabeza de compresión como en la cabeza traccionada. La información dada por los captadores es la habitual observando lógicamente una mayor deformación en la zona de tracción que en la zona de compresión que prosigue hasta los 34,19 KN de la rotura.





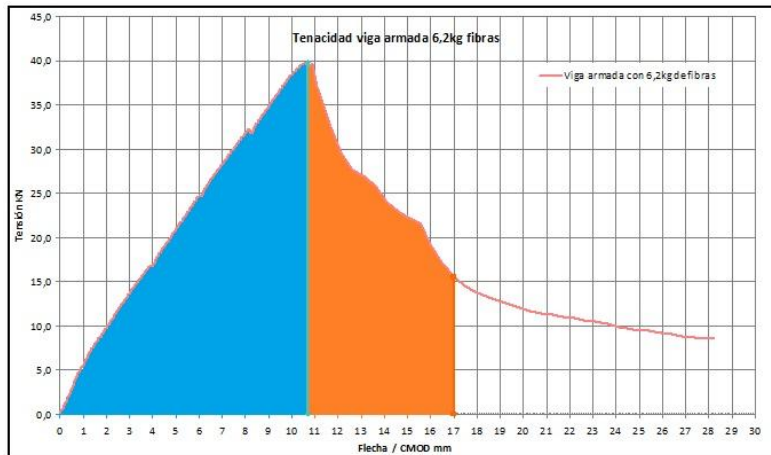
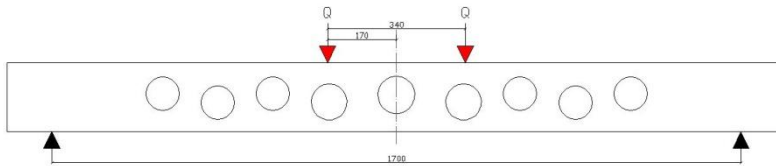
#### Capacidades mecánicas del HAC sin fibras a los 28 días

	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	38,38	37,23
fc cubica (MPa)	42,74	43,80
$E_C$ (MPa)	30053	30049
fc,flex (MPa)	5,64	5,11
fc,flex Matriz (MPa)	5,64	5,11
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,64	5,11
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	5,61	5,04
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	-	-
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	-	-
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	-	-
$E_{FLEX}$ (MPa)	20693	31511,17

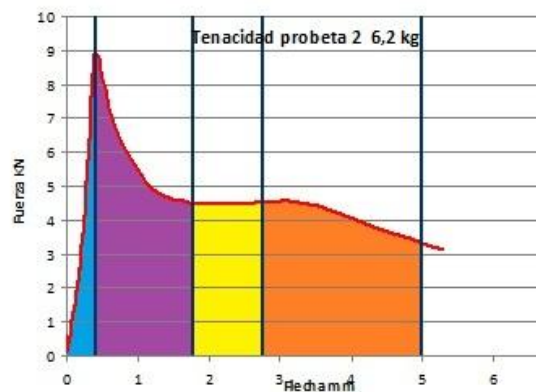
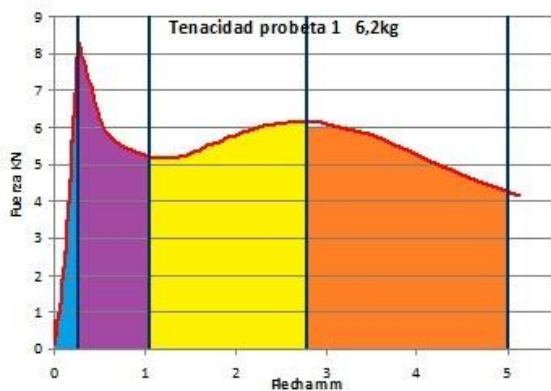
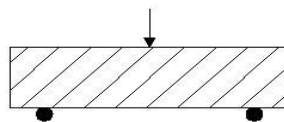


Estas imágenes tomadas en el momento de la rotura de la viga reflejan que rompió por la acción de cortante. Las grietas inclinadas van desde el apoyo de la viga donde se encuentra la resultante hasta la aplicación directa de la carga.

**5.5.2. Viga tipo 2 con armado completo y 6,2kg de fibras.**



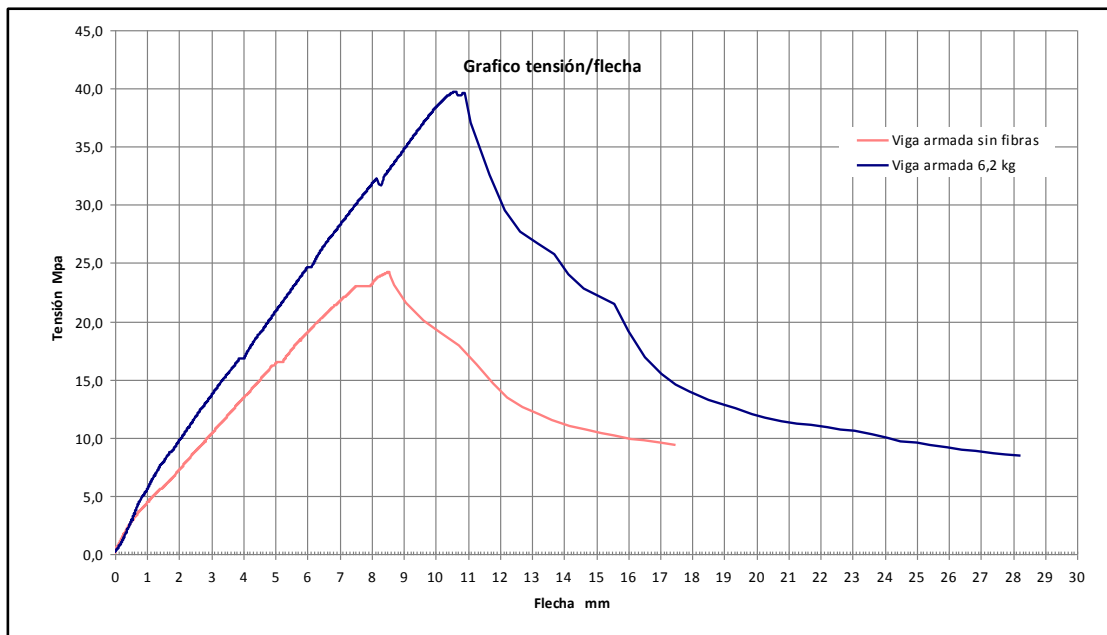
Dosificación Kg/m3		
Material	Ud.	Cant.
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Agua/CEM		0,6



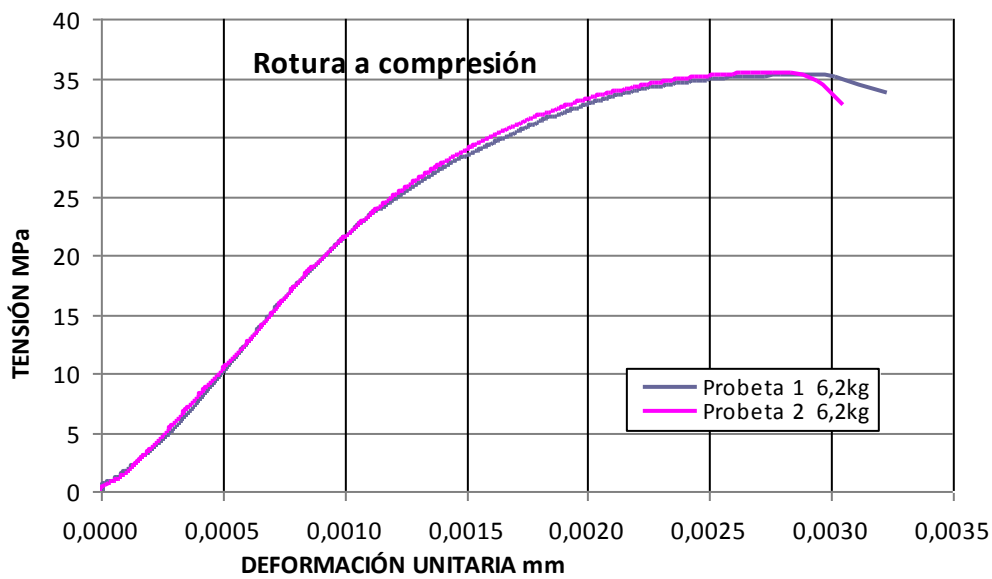
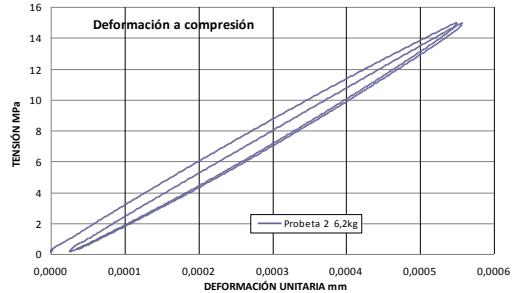
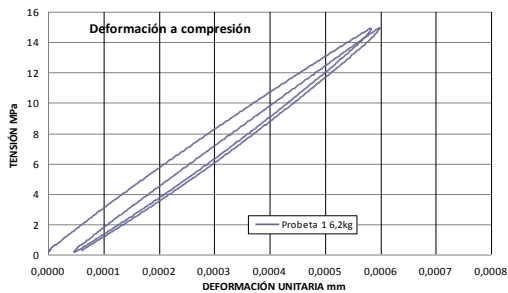
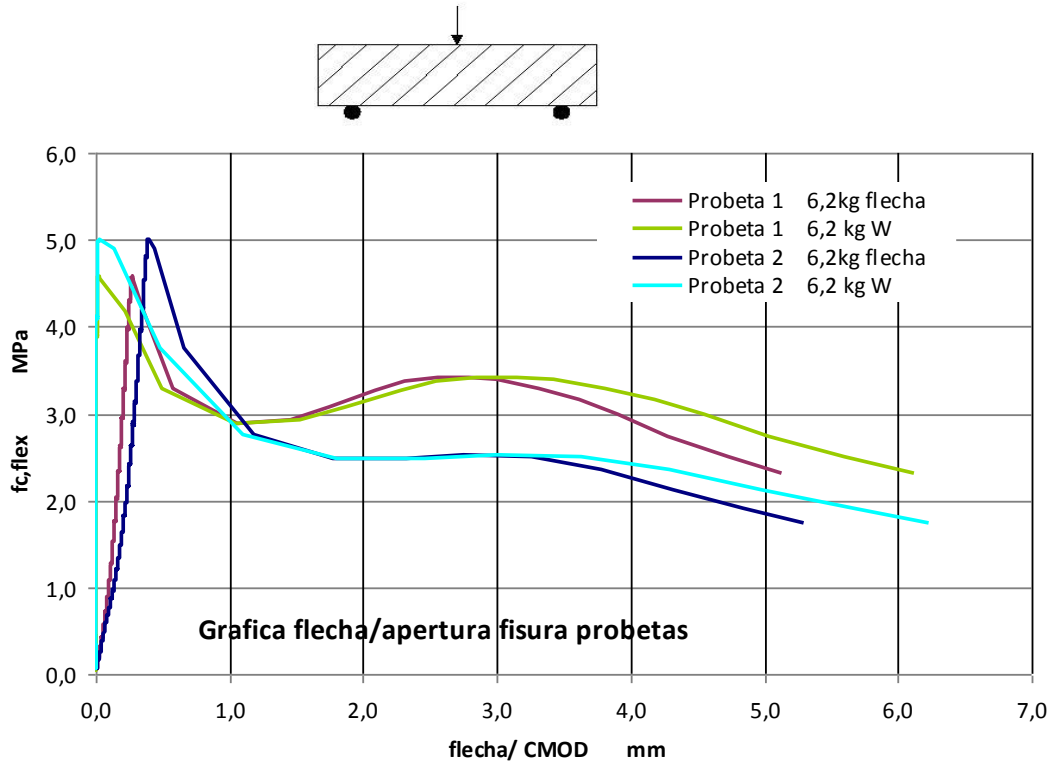
**Tenacidad del HAC con 6,2kg fibras y viga con armado completo**

Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N·mm)	3114,20	4093,30	234079,746
ABLANDAMIENTO (N·mm)	6963,20	10046,00	0,00
ENDURECIMIENTO (N·mm)	9082,30	4262,90	0,00
POST ROTURA (N·mm)	13270,00	9388,30	170856,678
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N·mm)	32429,70	27790,50	404936,424
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N·mm)	387781,46	355775,78	X

En la siguiente gráfica se puede observar que la tenacidad de la viga con un armado completo y 6,2 kg de fibras representa un ascenso en la tensión de rotura de la probeta, aumentando el área de su tenacidad en comparación con la viga patrón sin fibras.

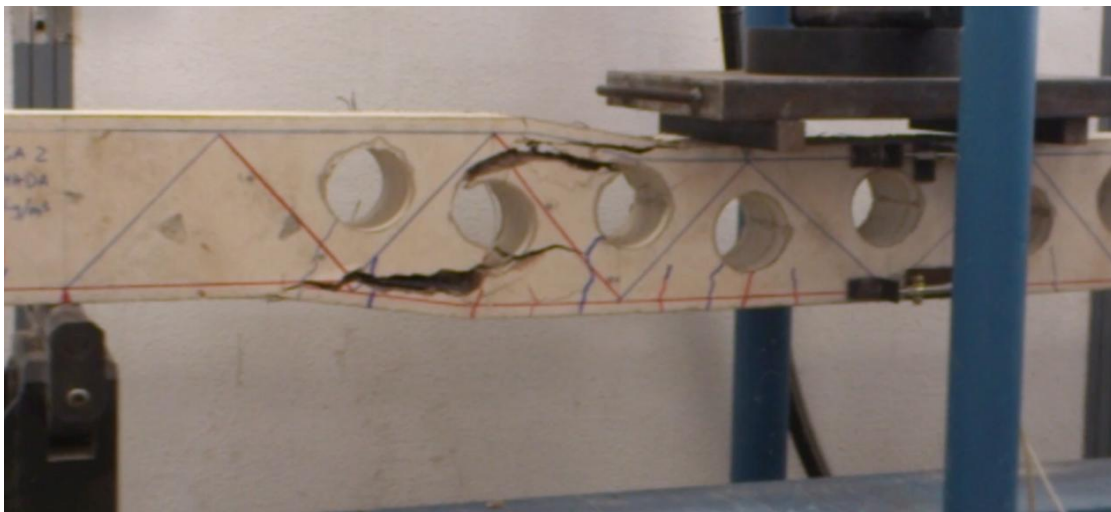


En este gráfico podemos observar la diferencia entre la viga patrón armada sin fibras y la viga armada con 6.2 kg de fibras por metro cúbico. La incorporación de fibras hace que la tensión de rotura sea mayor además de que se aumente también la deformación por lo que conseguimos una viga más dúctil.



## Capacidades mecánicas del HAC con 6,2 kg fibras a los 28 días

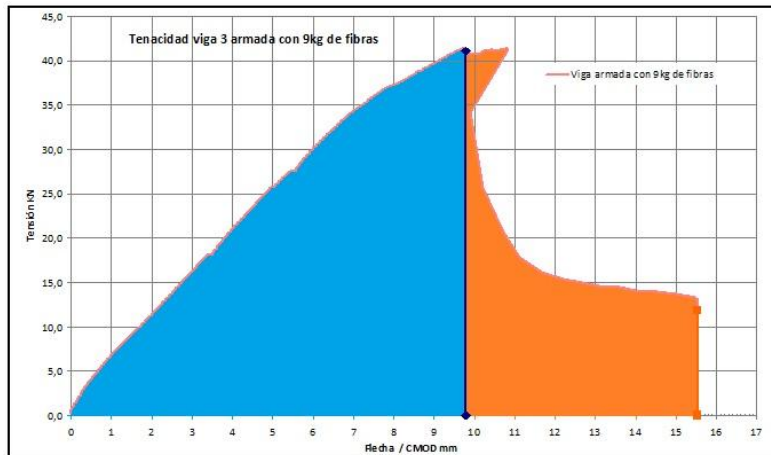
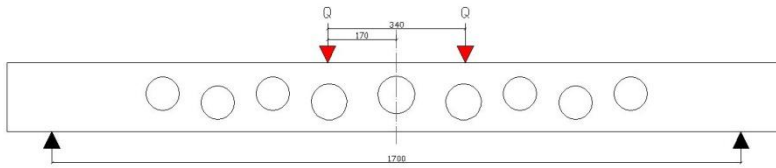
	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	35,00	35,46
fc cubica (MPa)	38,83	41,41
$E_C$ (MPa)	27247	27914
fc,flex (MPa)	4,60	4,90
fc,flex Matriz (MPa)	4,60	4,90
fc,CMOD 0,05 (MPa)	3,11	3,75
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,32	3,37
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	2,98	2,48
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,36	2,47
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,37	2,51
$E_{FLEX}$ (MPa)	42323	34109



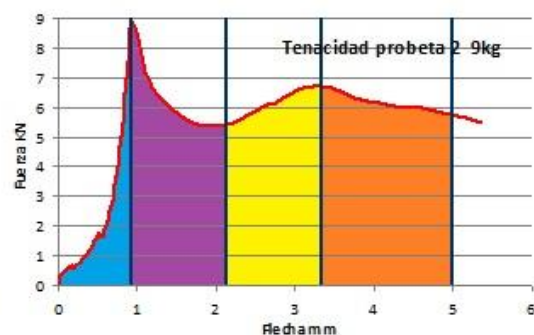
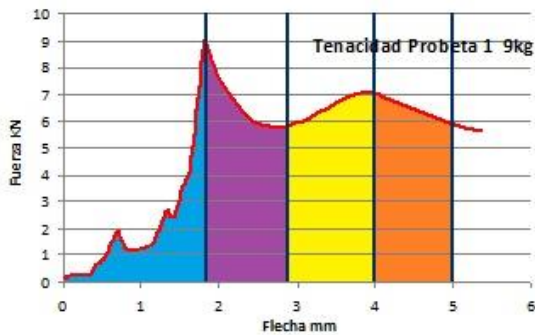
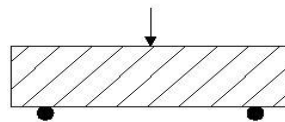
Rotura producida por cortante en el primer tercio del apoyo del lado izquierdo. La grieta se inicia cercana a la zona de la resultante del apoyo y se dirige en una inclinación de 45 grados hasta el apoyo de la carga. La concentración de tensiones en la fisura al llegar al alveolo dado que no hay masa en el mismo la grieta cambia de dirección entrando por la zona inferior del segundo alveolo y saliendo por la parte superior del mismo alveolo hasta la zona de aplicación de cargas.



### 5.5.3. Viga 3 con armado completo y 9 kg de fibras

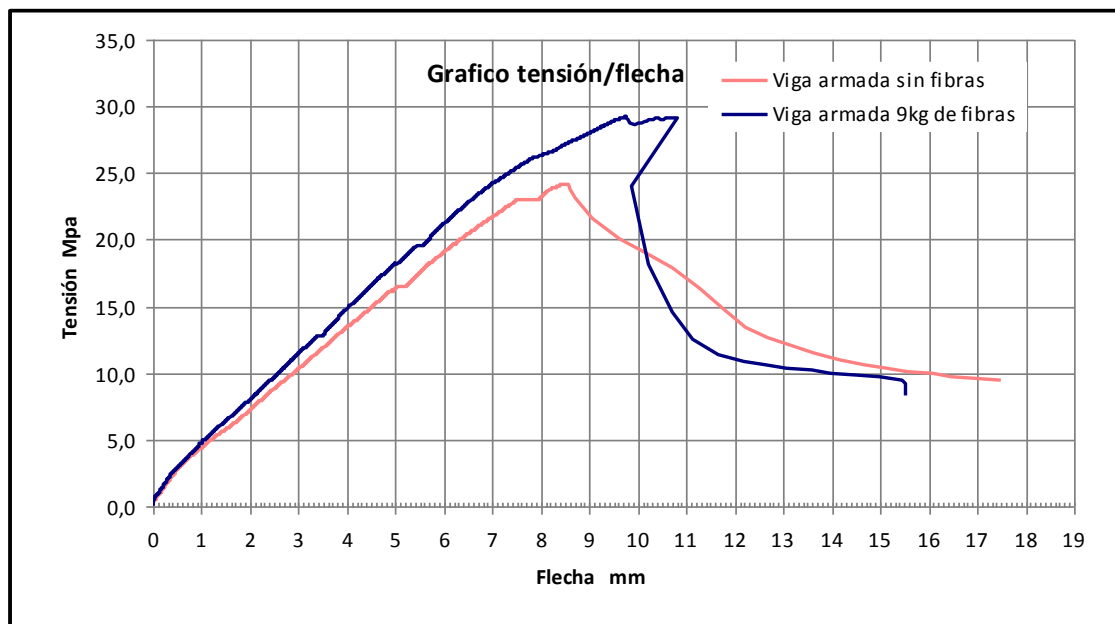


Dosificación Kg/m3		
Material	Ud.	Cant.
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	9
Agua/CEM		0,6

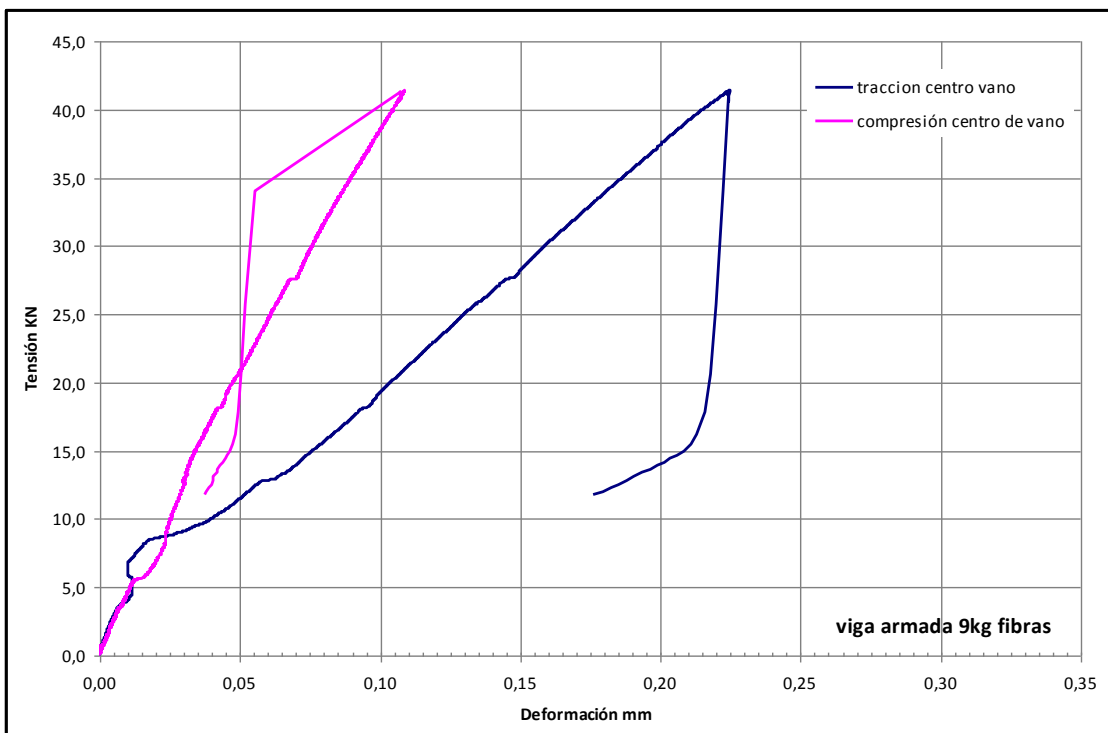
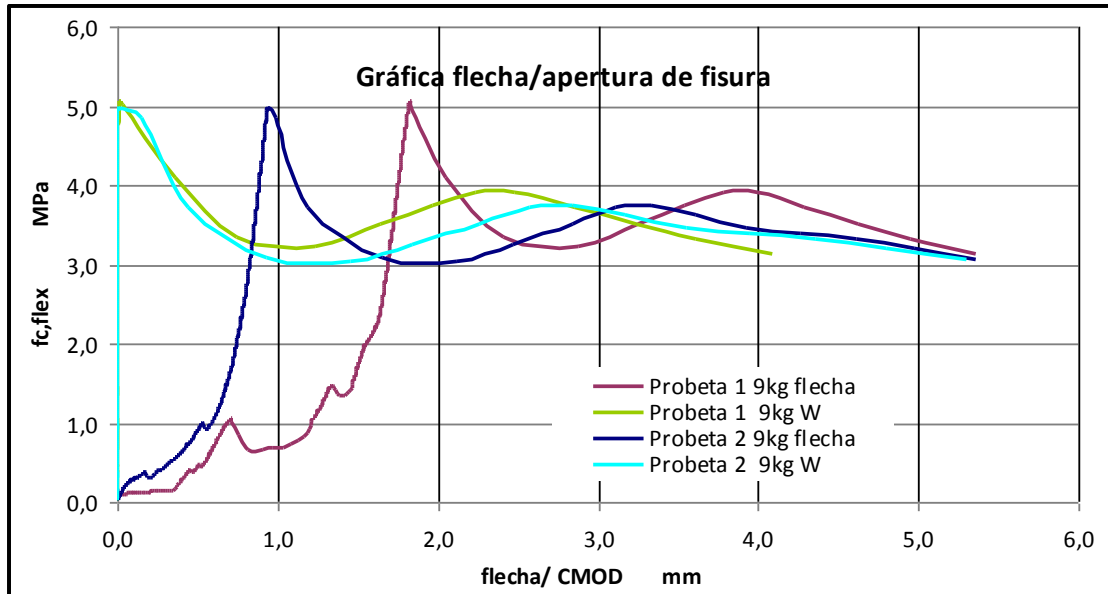
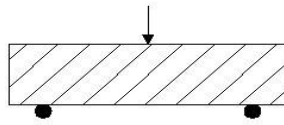


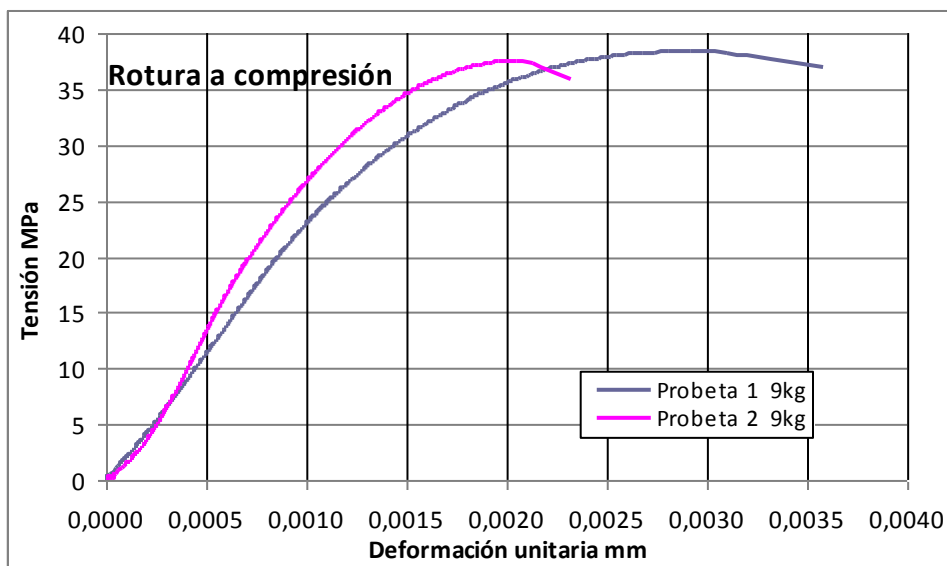
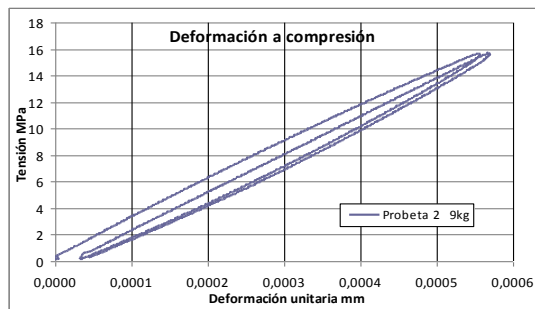
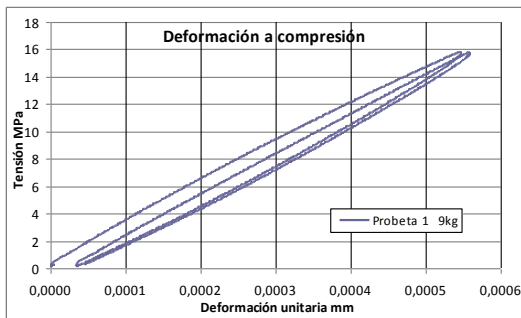
## Tenacidad del HAC con 9kg de fibras y de la viga armada completa

Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N·mm)	5421,80	4685,96	283620,58
ABLANDAMIENTO (N·mm)	9223,20	8986,97	0,00
ENDURECIMIENTO (N·mm)	7072,00	7330,91	0,00
POST ROTURA (N·mm)	8939,00	12828,31	130077,331
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N·mm)	30656,00	33832,15	413697,911
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N·mm)	438770,10	275341,97	X



En la viga de 9kg de fibras la tenacidad ha aumentado al igual que la tensión máxima de rotura. La zona del comportamiento elástico de la viga es mayor tanto en deformación como en la tensión soportadas, por lo que tenemos una viga más dúctil.





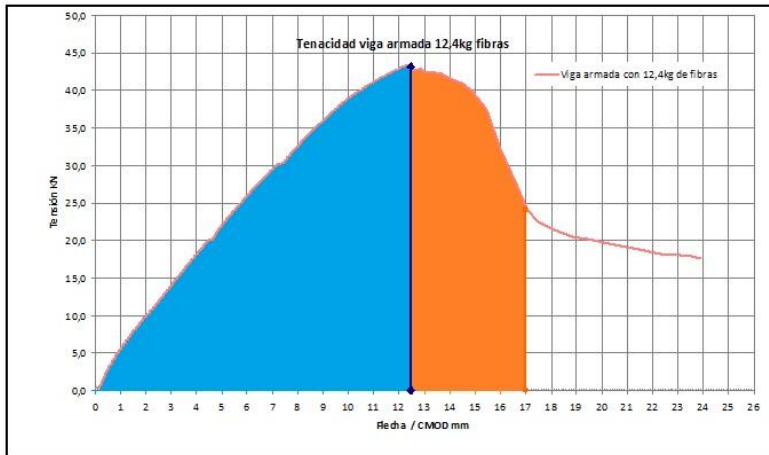
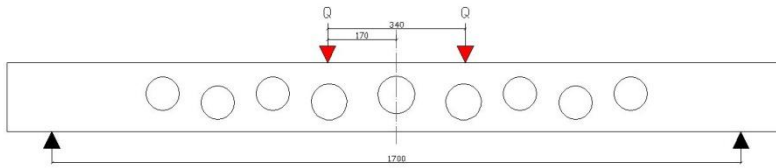
## Capacidades mecánicas del HAC con 9 kg fibras a los 28 días

	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	38,26	37,39
fc cubica (MPa)	42,24	41,67
$E_C$ (MPa)	29606	28972
fc,flex (MPa)	5,05	4,95
fc,flex Matriz (MPa)	5,05	4,95
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,01	4,95
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,00	3,71
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	3,49	3,03
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,91	3,71
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,32	3,46
$E_{FLEX}$ (MPa)	25627	28944,12

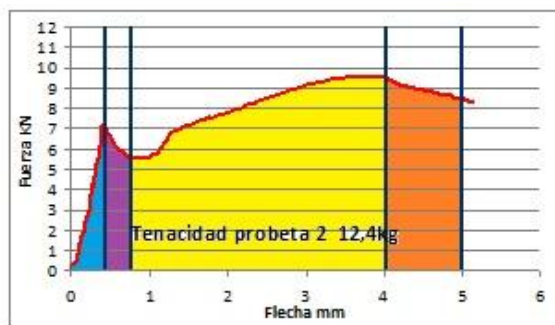
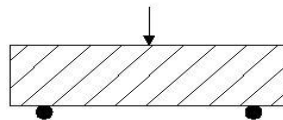


La rotura de la viga es muy semejante al fallo de las anteriores ya ensayadas fallando por cortante en las mismas zonas. Las grietas inclinadas van desde el apoyo de la viga donde se encuentra la resultante hasta la aplicación directa de la carga.

**5.5.4. Viga 4 armado completo con 12,4kg de fibras**

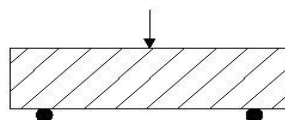
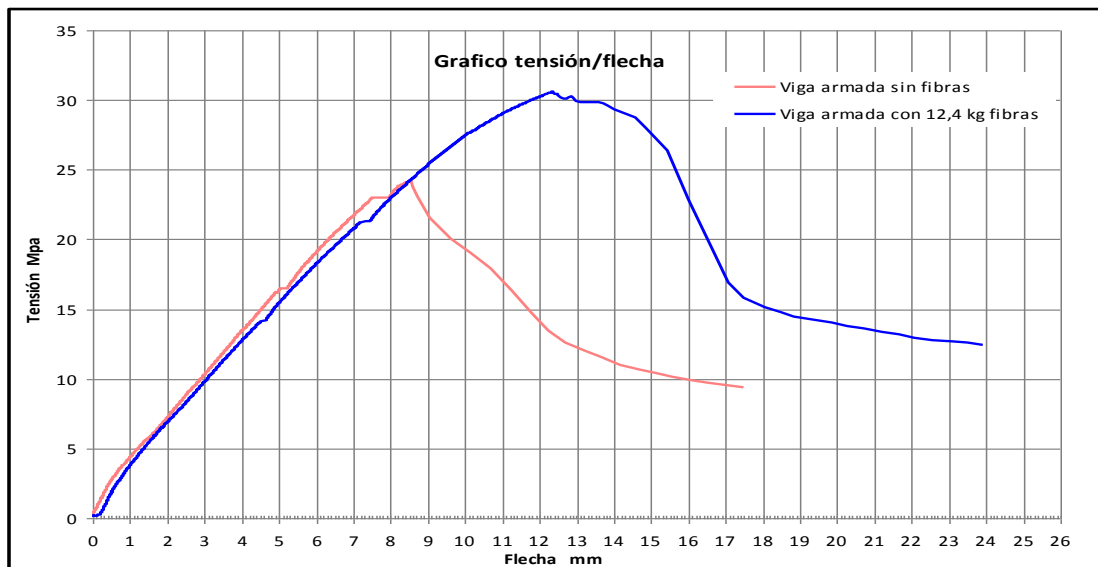


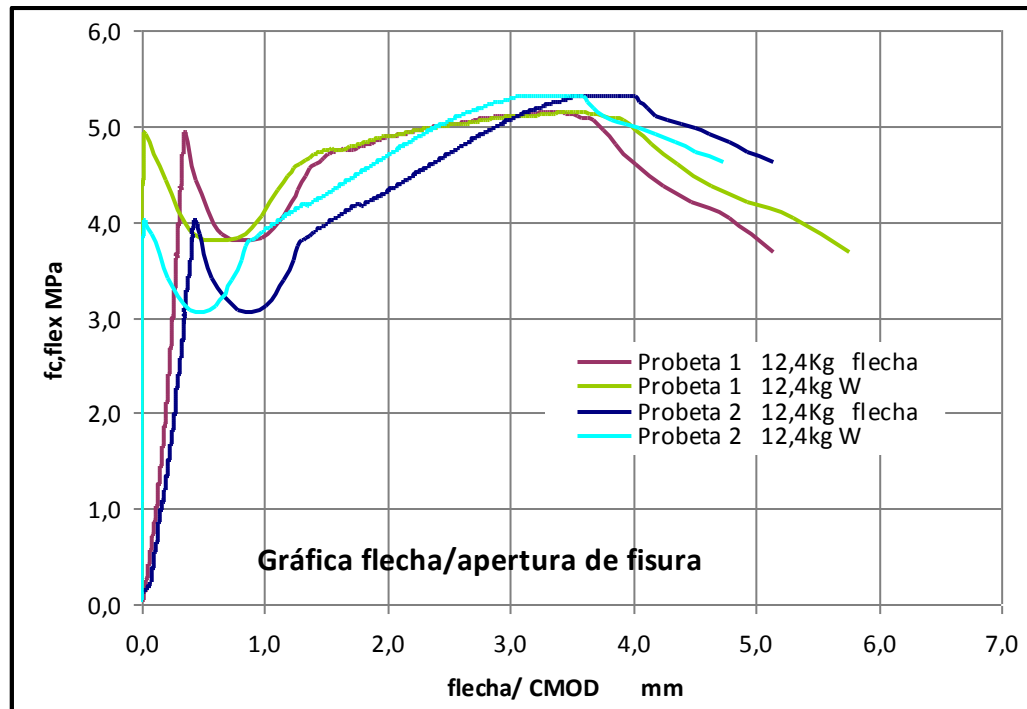
Dosificación Kg/m3		
Material	Ud.	Cant.
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	12,4
Agua/CEM		0,6



## Tenacidad del HAC con 12,4kg fibras y viga con armado completo

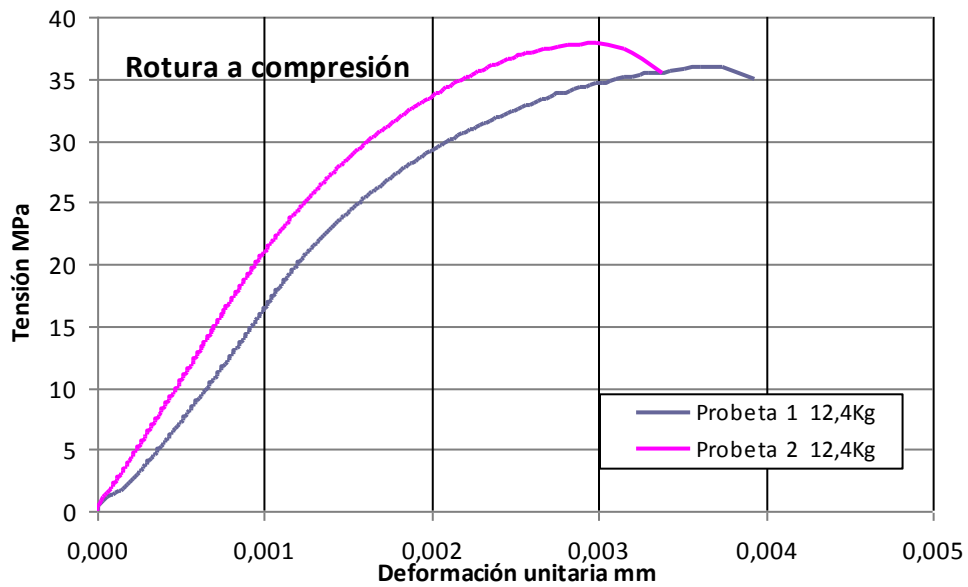
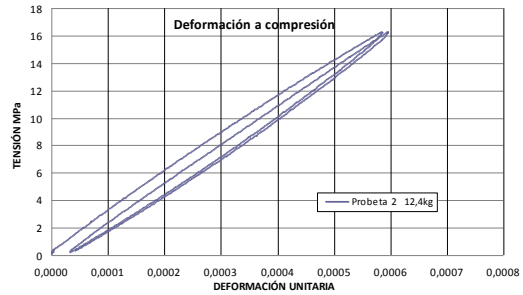
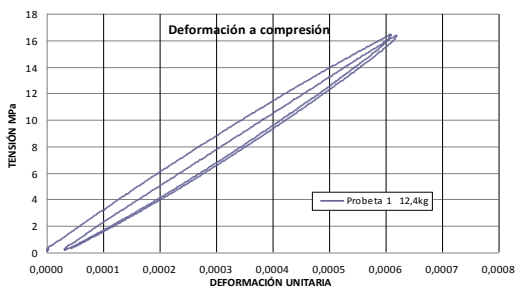
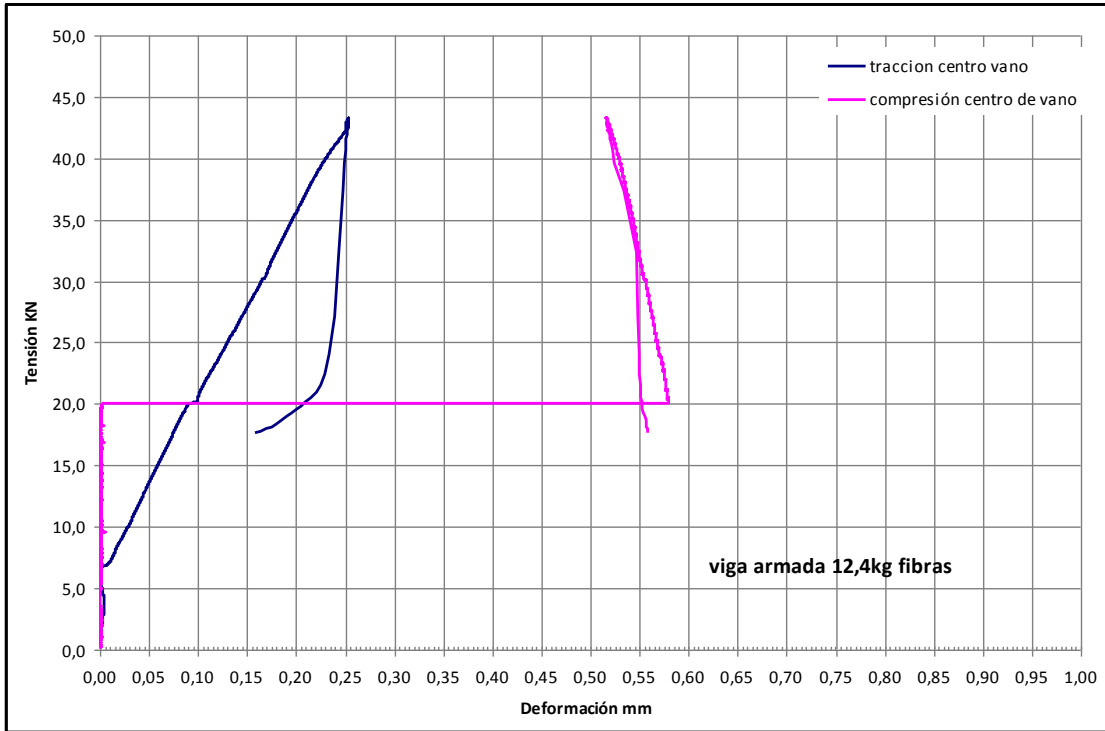
Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N-mm)	3993,89	3777,95	314410,588
ABLANDAMIENTO (N-mm)	5740,41	3359,75	0,00
ENDURECIMIENTO (N-mm)	20002,44	25431,79	0,00
POST ROTURA (N-mm)	16594,47	11424,91	185239,063
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)	46331,21	43994,40	499649,651
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N-mm)	504980,18	429936,54	X





En el hormigón con una adicción de 12,4 kg de fibras por metro cúbico se mejoran notablemente sus características mecánicas. En las gráficas podemos apreciar como con este tipo de hormigón aumentamos notablemente la tensión de rotura de la matriz además de que su deformación es muy superior. Tanto la viga como las probetas son mucho más dúctiles logrando absorber mucha más energía y por lo tanto aumentando considerablemente la tenacidad del conjunto.

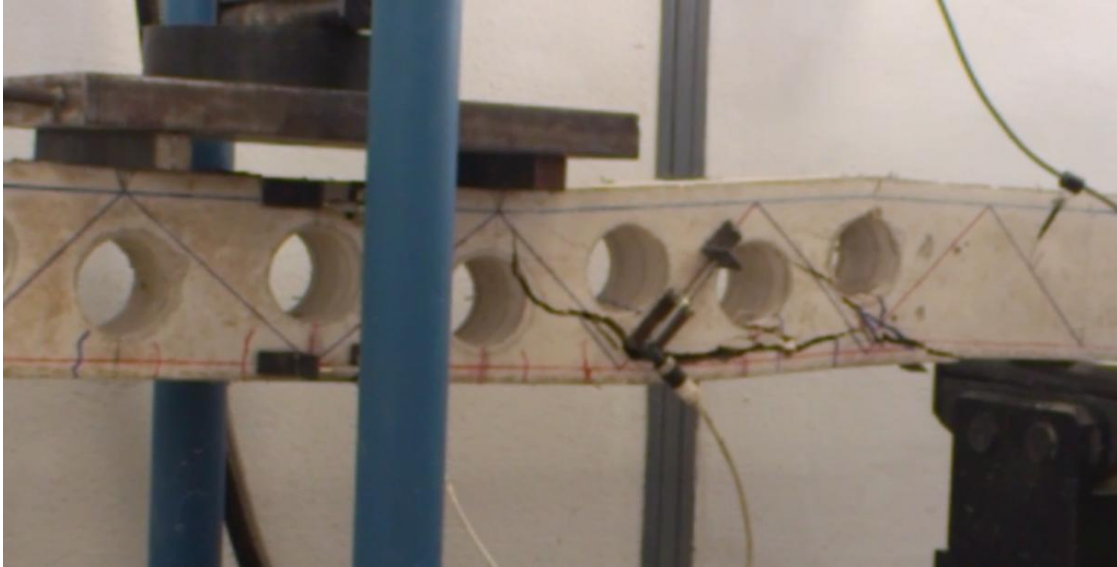




## Capacidades mecánicas del HAC con 12,4 kg fibras a los 28 días

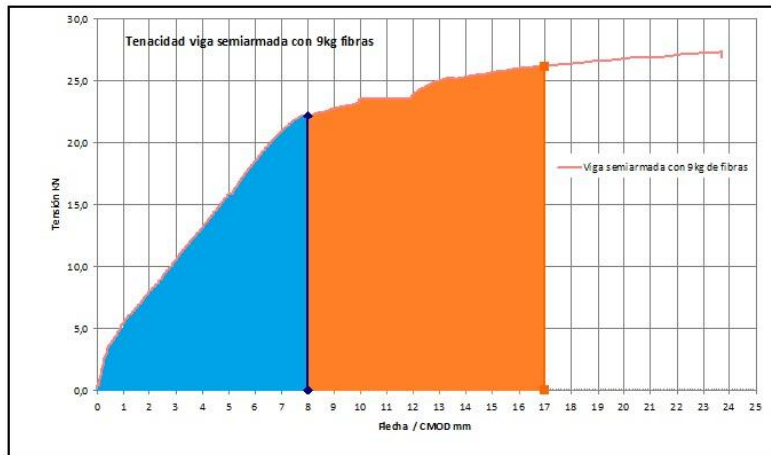
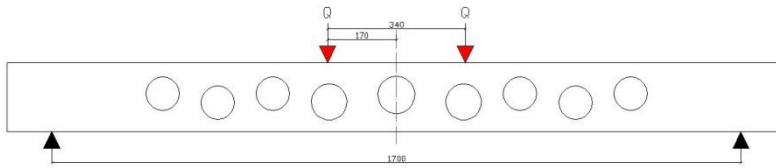
	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	35,89	37,94
fc cubica (MPa)	43,97	42,20
$E_C$ (MPa)	27365	28406
fc,flex (MPa)	5,15	5,31
fc,flex Matriz (MPa)	4,93	4,02
fc,CMOD 0,05 (MPa)	3,51	3,91
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,83	3,12
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	4,74	4,28
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	5,00	5,05
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	5,15	5,31
$E_{FLEX}$ (MPa)	35298,8	21399,86



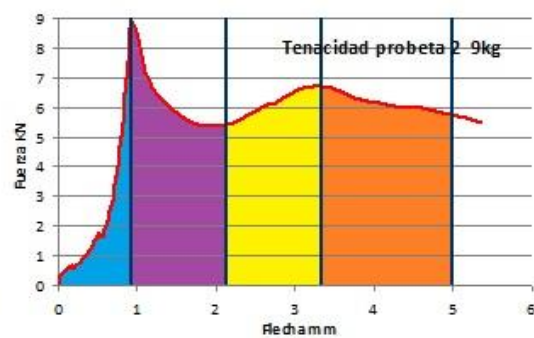
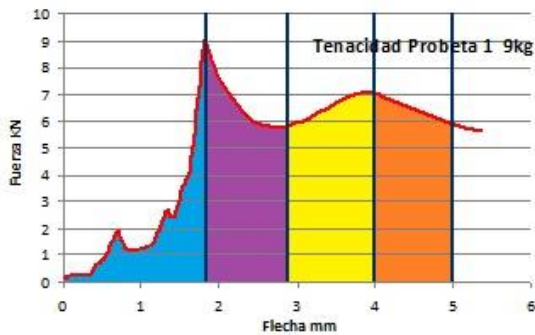
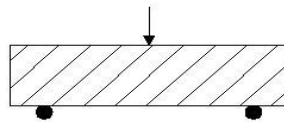


Rotura producida por cortante en el primer tercio del apoyo del lado derecha. La grieta se inicia cercana a la zona de la resultante del apoyo y se dirige en una inclinación de 45 grados hasta el apoyo de la carga.

### 5.5.5. Viga 5 con semiarmado y 9 kg de fibras

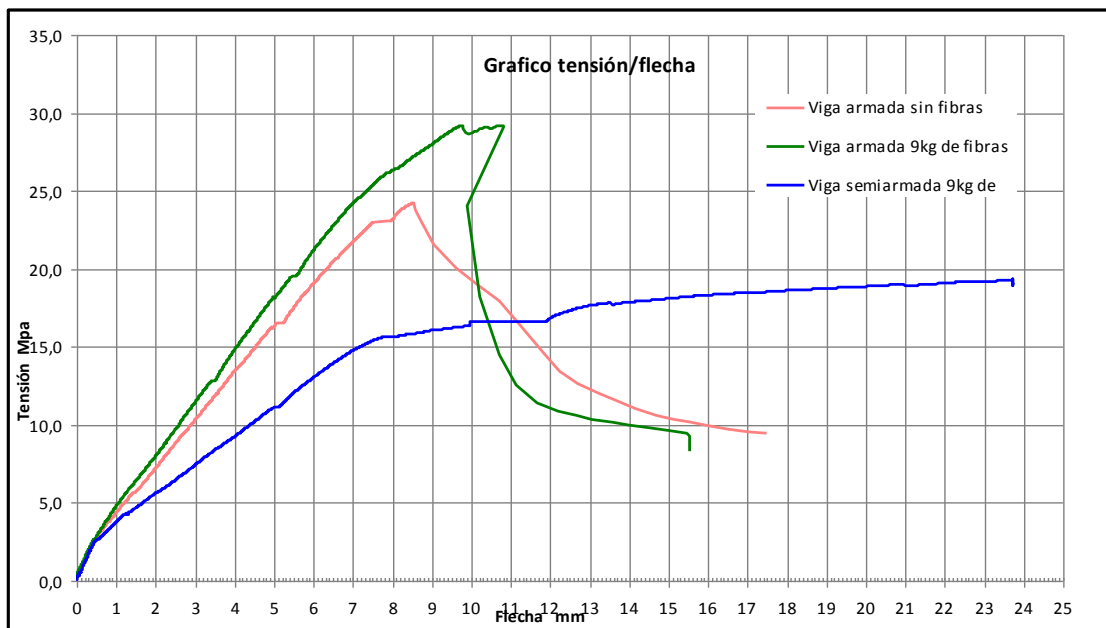


Dosificaci&ntilde;n Kg/m3		
Material	Ud.	Cant.
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	9
Agua/CEM		0,6



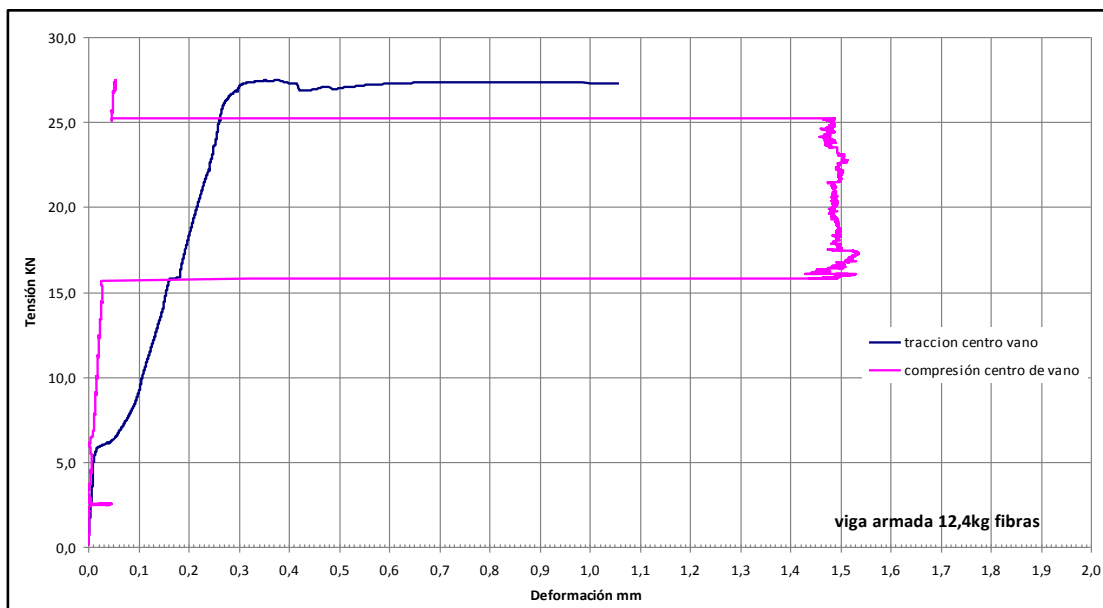
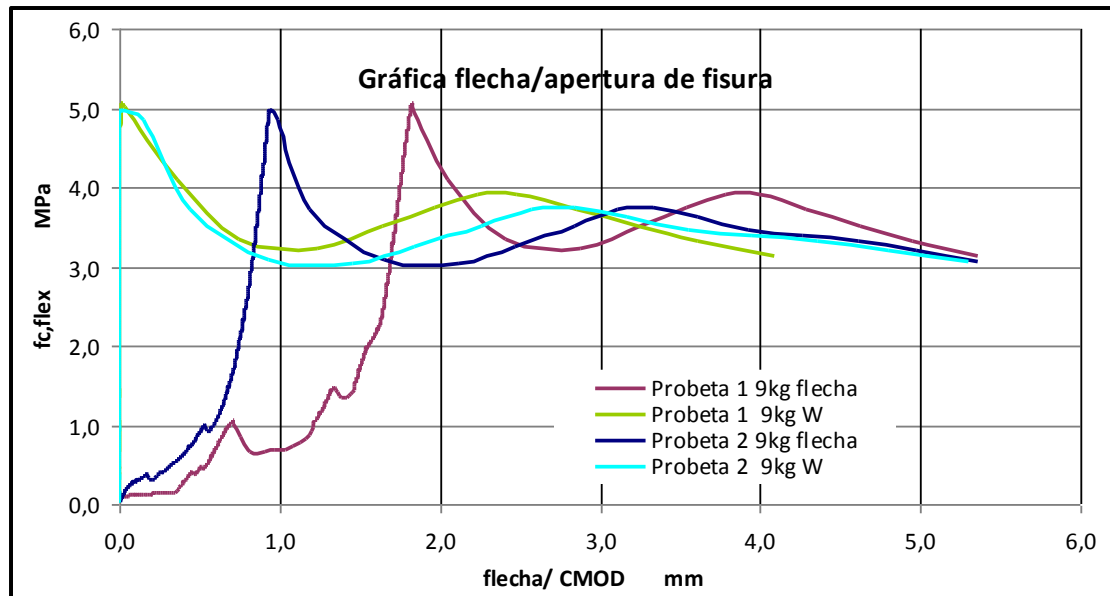
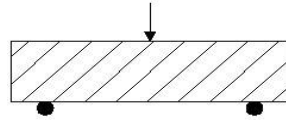
## Tenacidad del HAC con 9kg de fibras y de viga semiarmada

Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N-mm)	5421,80	4685,96	105010,073
ABLANDAMIENTO (N-mm)	9223,20	8986,97	0,00
ENDURECIMIENTO (N-mm)	7072,00	7330,91	0,00
POST ROTURA (N-mm)	8939,00	12828,31	220134,745
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)	30656,00	33832,15	325144,818
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N-mm)	438770,10	275341,97	X

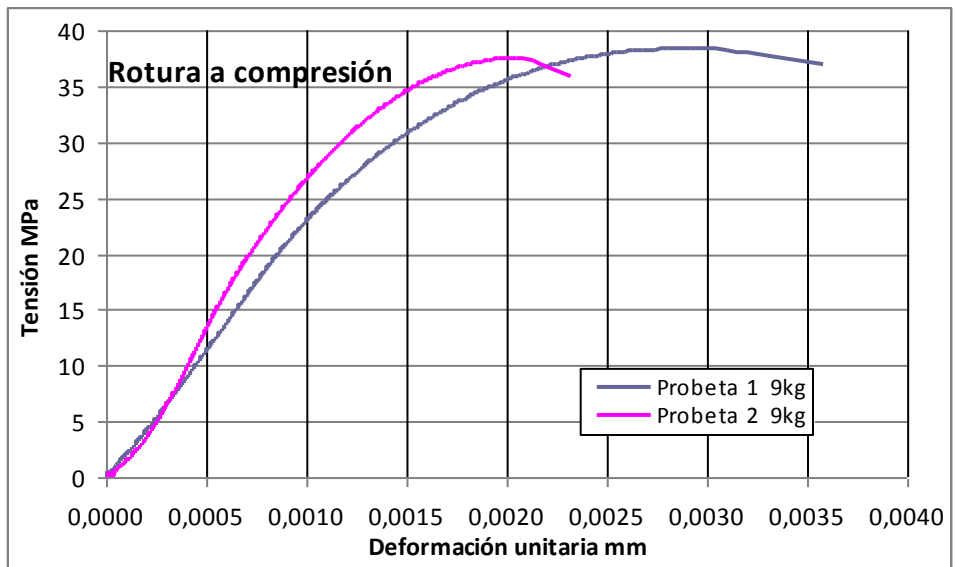
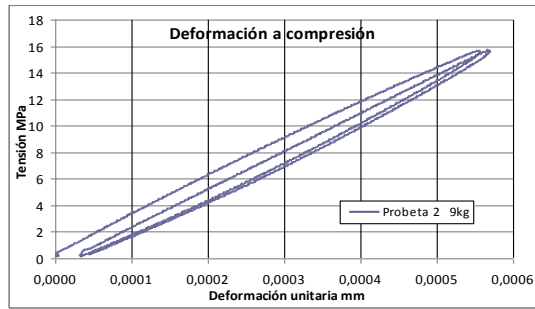
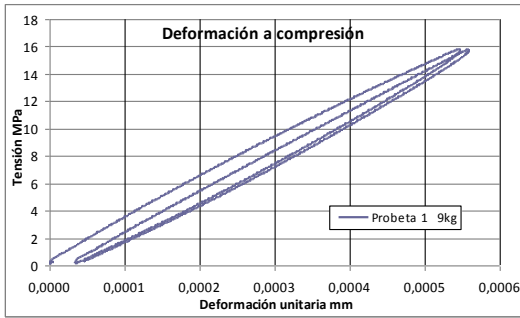


En este tipo de viga dispusimos la mitad del armado en la zona de flexión, lo cual originó que la zona más débil estuviese en centro de vano

Esta viga comenzó a romper por su zona de centro de vano debido a una insuficiencia del acero para reforzar el momento flector positivo. Por ese motivo el acero comienza a entrar en su estado plástico y la rotura de la matriz no se comporta igual que las otras vigas ensayadas con la misma cantidad de armado.



En esta gráfica reconocemos una excesiva deformación en el centro de vano mucho mayor que las otras vigas ensayadas, lo cual es lógico ya que fue esta la zona de colapso. Que la deformación sea mayor en la cabeza de compresión que en la parte inferior traccionada puede deber su explicación a que ante deformaciones tan grandes la lecturas de los captadores han variado. El captador de compresión es de 20mm y el de tracción es de 10mm por lo que el rango proporcional de lectura del recorrido de ambos en este caso no puede ser tan equivalente como en las anteriores gráficas del mismo tipo para las otras vigas.



## Capacidades mecánicas del HAC con 9 kg fibras a los 28 días

	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	38,26	37,39
fc cubica (MPa)	42,24	41,67
$E_C$ (MPa)	29606	28972
fc,flex (MPa)	5,05	4,95
fc,flex Matriz (MPa)	5,05	4,95
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,01	4,95
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,00	3,71
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	3,49	3,03
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,91	3,71
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,32	3,46
$E_{FLEX}$ (MPa)	25627	28944,12

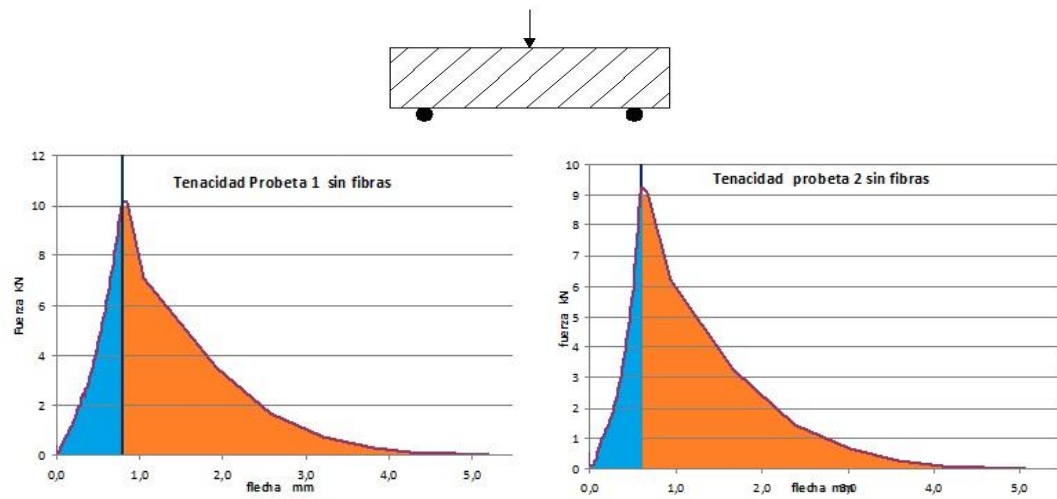
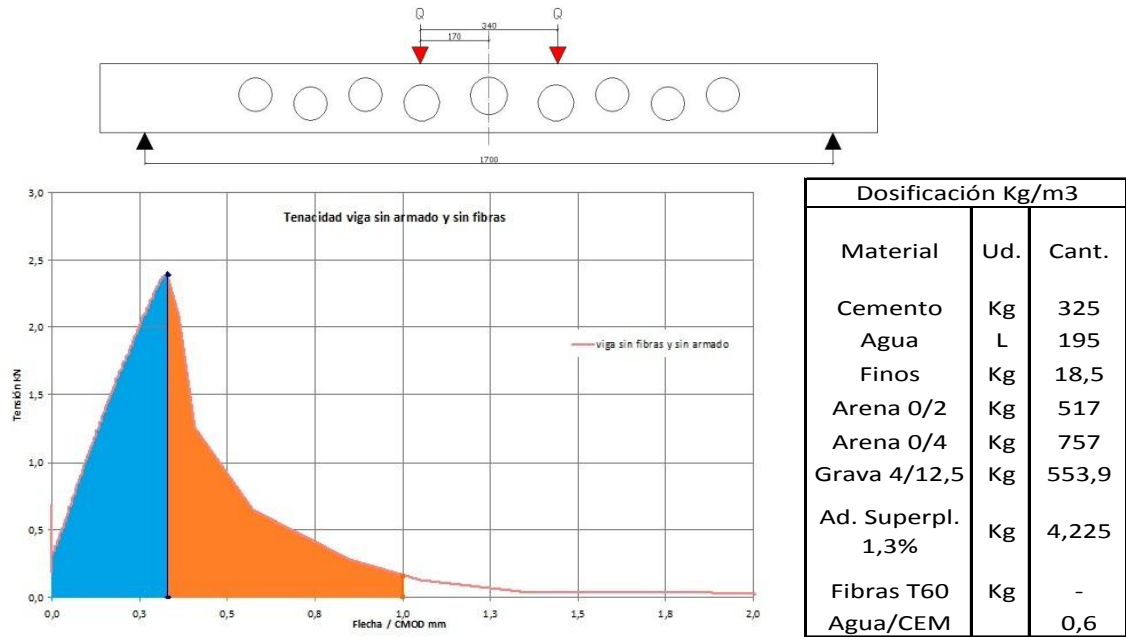


En esta foto se refleja claramente el tipo de rotura de esta viga y de cómo es totalmente diferente a los demás casos con mayor cantidad de armado en la zona de momento máximo.

La viga falla en la zona de momento máximo ya que la viga en este caso es más débil en ese punto que en las zonas donde predominan el esfuerzo por cortante.

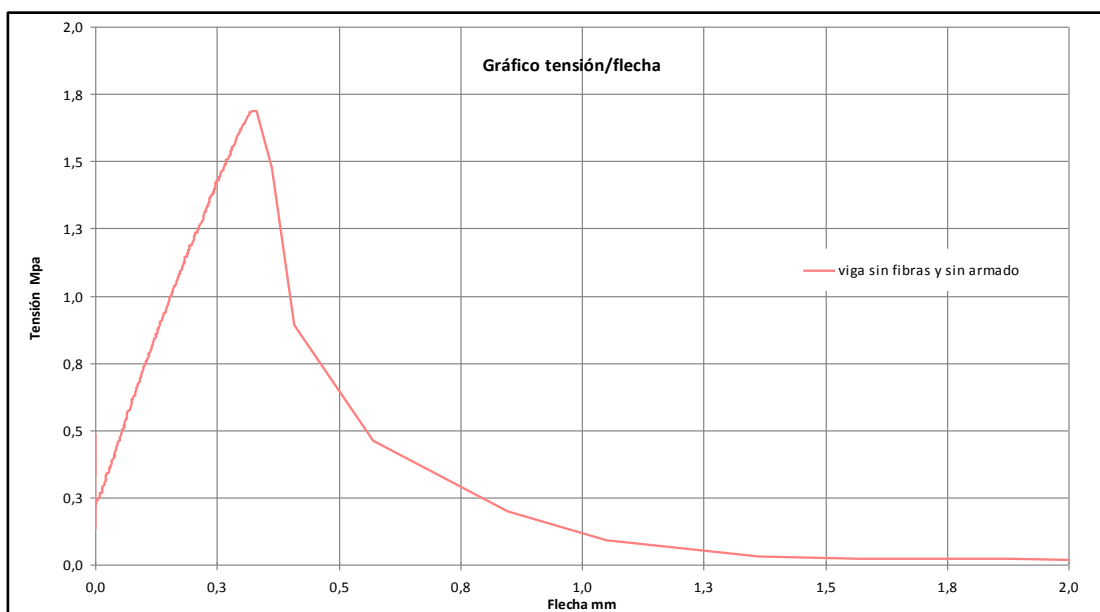


### 5.5.6. Viga 6 sin armado y sin fibras



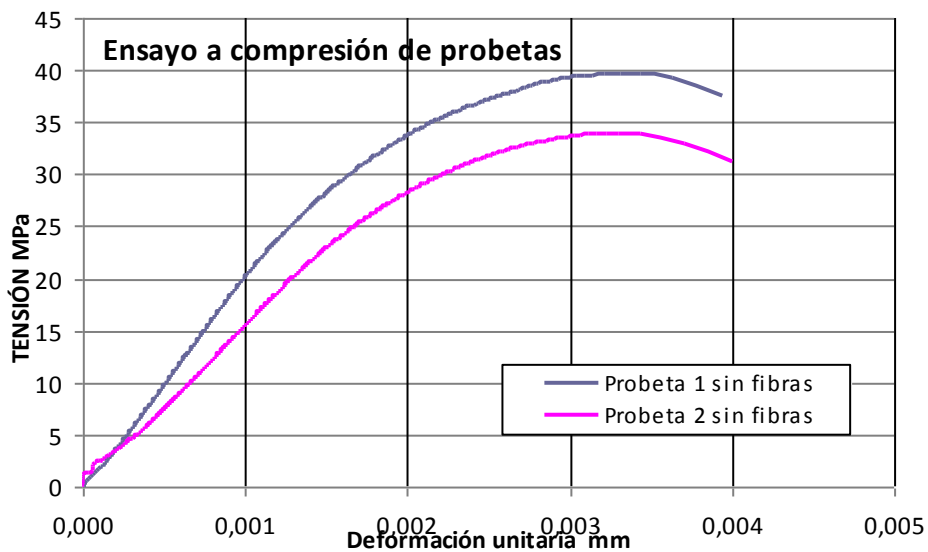
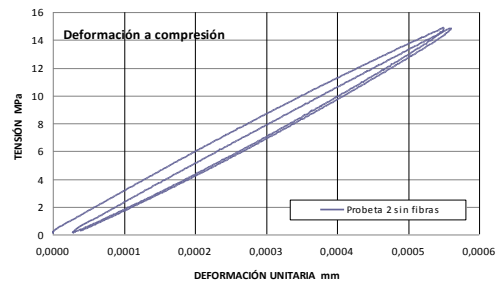
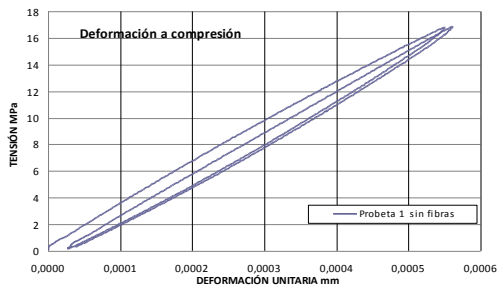
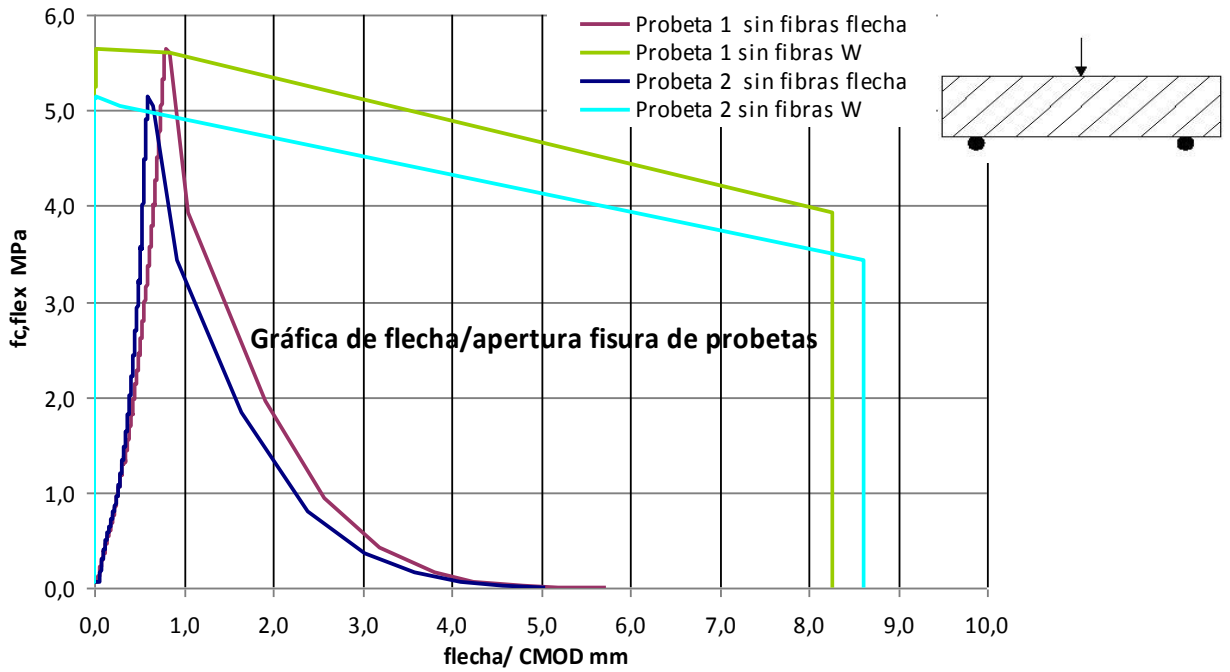
## Tenacidad del HAC sin fibras y de la viga sin armado

Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N·mm)	5212,40	3662,83	585,77
ABLANDAMIENTO (N·mm)	0,00	0,00	0,00
ENDURECIMIENTO (N·mm)	0,00	0,00	0,00
POST ROTURA (N·mm)	9941,20	8820,41	537,11
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N·mm)	15153,60	12483,24	1122,88
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N·mm)	507262,19	443611,70	X



El comportamiento de rotura de esta viga es totalmente frágil dado la ausencia de acero y fibras la matriz compuesta únicamente de hormigón es demasiado frágil para poder resistir las cargas sometidas.

La carga máxima hasta la rotura de la matriz es muy baja llegando a 1,68 MPa de tensión.

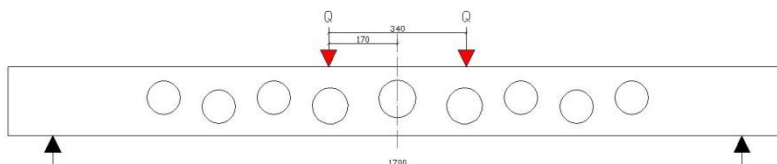


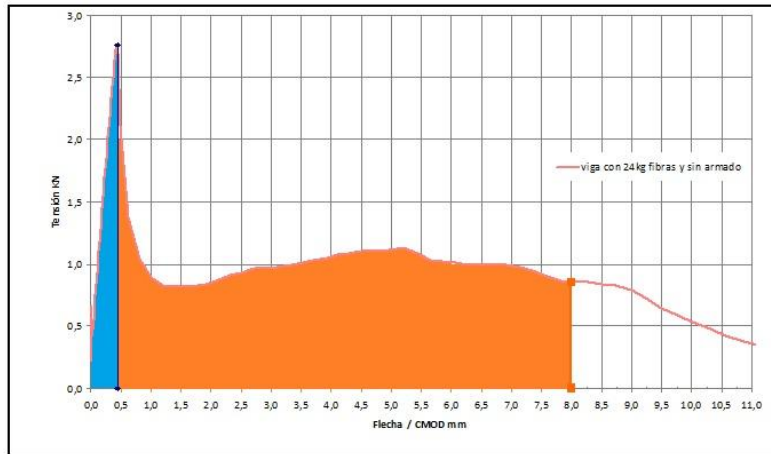
**Capacidades mecánicas del HAC sin fibras a los 28 días**

	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	38,38	37,23
fc cubica (MPa)	42,74	43,80
$E_C$ (MPa)	30053	30049
fc,flex (MPa)	5,64	5,11
fc,flex Matriz (MPa)	5,64	5,11
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,64	5,11
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	5,61	5,04
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	-	-
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	-	-
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	-	-
$E_{FLEX}$ (MPa)	20693	31511,17

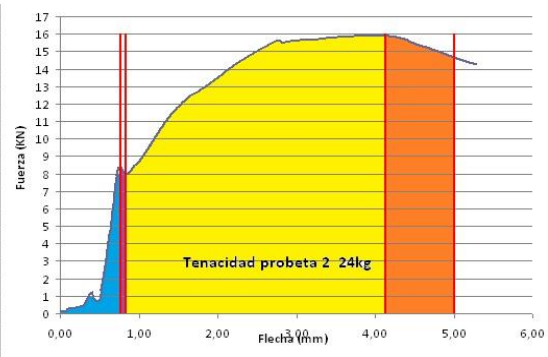
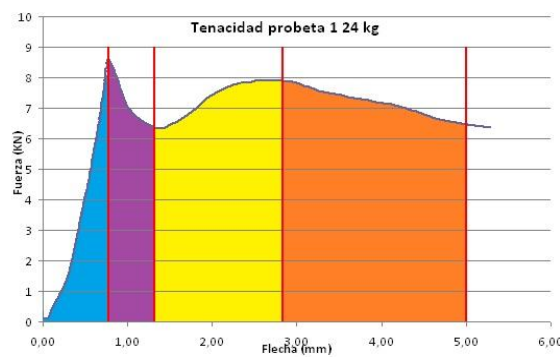


La rotura de esta viga fue completamente frágil sin presentar ninguna ductilidad ni deformación. El material se fracturó en la zona de las cargas aplicadas.

**5.5.7. Viga 7 sin armado y con 24 kg de fibras**

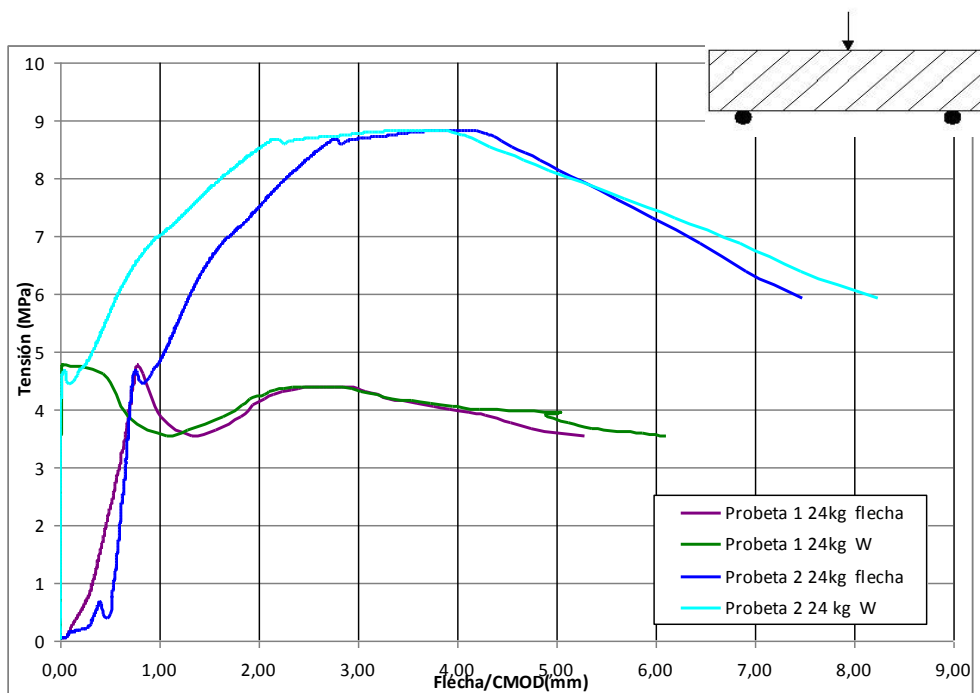
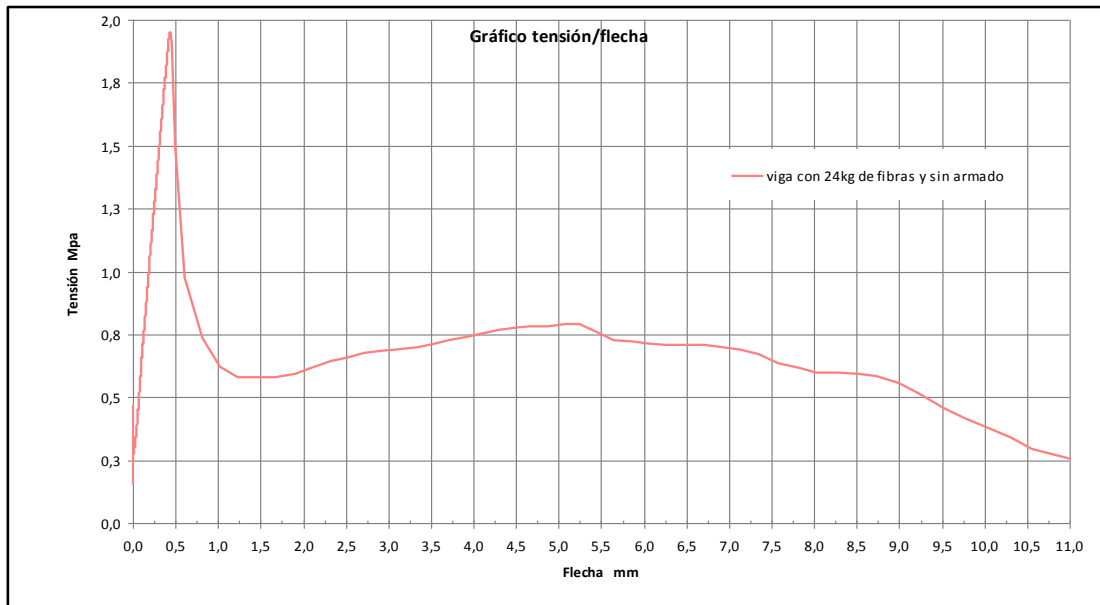


Dosificación Kg/m3		
Material	Ud.	Cant.
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	24
Agua/CEM		0,6



**Tenacidad del HAC con 24 kg fibras y de la viga sin armado**

Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N-mm)	5560,67	4372,34	857,14
ABLANDAMIENTO (N-mm)	5023,21	704,44	0,00
ENDURECIMIENTO (N-mm)	10104,29	46395,29	0,00
POST ROTURA (N-mm)	18588,17	21296,28	7722,08
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)	39276,34	72768,35	8579,22
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N-mm)	375360,69	760346,47	X



En las anteriores graficas de tensión-flecha/CMOD de las probetas se observa una gran diferencia entre las dos probetas de la misma amasada. Podemos fijarnos como la rotura de la matriz de hormigón se producen en puntos muy parecidos sin embargo la recuperación de la probeta dos alcanza el doble de tensión y mucha más tenacidad.

Esto se debe a un error humano a la hora de verter las probetas quedando en la probeta 1 una cantidad de fibras mucho menor lo cual explica este comportamiento.

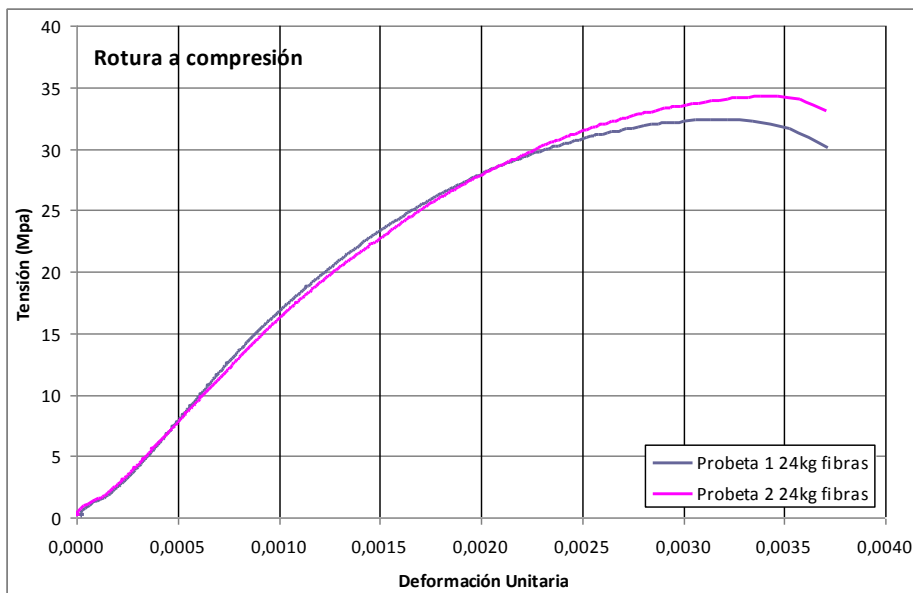
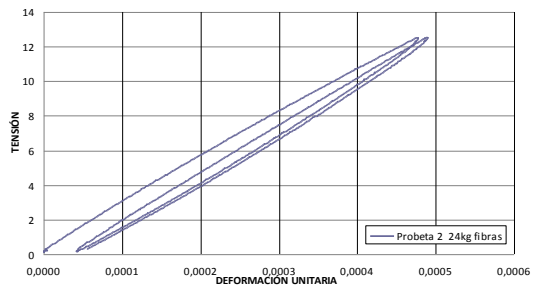
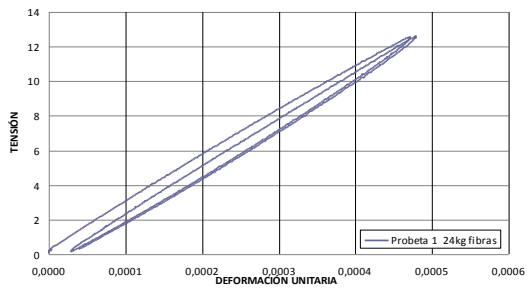
En las siguientes fotos podemos observar la disparidad de fibras en las dos probetas:



Probeta 1 menor contenido de fibras



Probeta 2 con mayor contenido de fibras



## Capacidades mecánicas del HAC con 24 kg de fibras a los 28 días

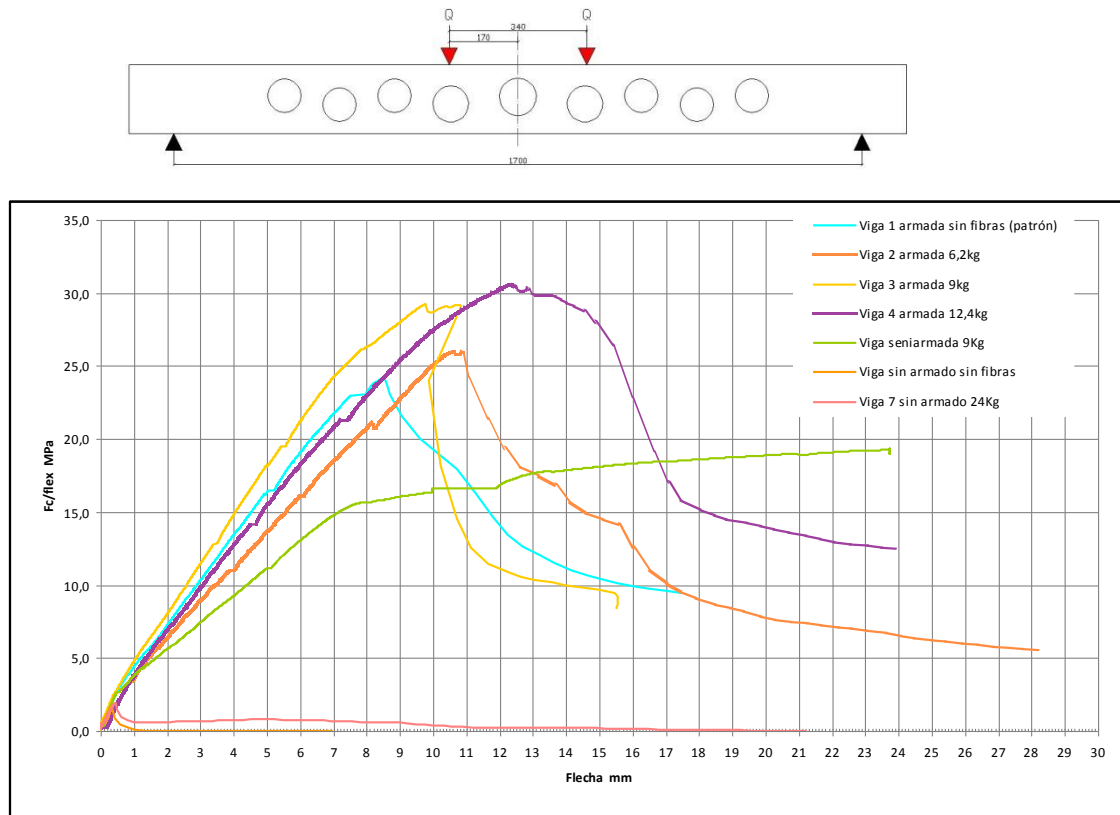
	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	33,929	32,093
fc cubica (MPa)	33,155	33,735
$E_C$ (MPa)	27471	27585
fc,flex (MPa)	4,77	8,83
fc,flex Matriz (MPa)	4,77	4,67
fc,CMOD 0,05 (MPa)	4,77	4,67
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,61	5,67
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	3,88	7,81
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	4,38	8,69
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	4,14	8,82
$E_{FLEX}$ (MPa)	17004	27772



La rotura de esta viga fue frágil pero presentando mayor ductilidad y deformación que la viga 6 sin fibras. El material se fracturó en la zona de las cargas aplicadas .



### 5.5.8. Comparativa de las vigas



Tenacidades de vigas			
	RESILIENCIA (N-mm)	POST ROTURA (N-mm)	TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)
Viga 1 patrón	171228,521	176437,295	347665,816
Viga 2 armada 6,2kg	234079,746	170856,678	404936,424
Viga3 armada 9kg	283620,58	130077,331	413697,911
Viga 4 armada 12,4kg	314410,588	185239,063	499649,651
Viga 5 semiarmada 9kg	105010,073	220134,745	325144,818
Viga 6 sin armado 0kg	585,77	537,11	1122,88
Viga 7 sin armado 24kg	857,14	7722,08	8579,22

En este apartado podemos realizar una rápida comparación del estudio realizado de las vigas realizadas tanto de su comportamiento mecánico como de su tenacidad.

Como conclusión principal podemos decir que las fibras mejoran el comportamiento de las vigas aumentando el límite de rotura de la matriz y la energía residual después de la postfisuración. Esto se debe a que las fibras logran controlar la fisuración tanto la microfisuración como la macrofisuración.

Analizando detenidamente los datos obtenidos podemos deducir que:

Las fibras mejoran el límite de rotura de las vigas incrementando la tensión, en el caso de la incorporación de fibras 6,2 kg/m<sup>3</sup> se incrementa en un 7,11%, con 9 Kg/m<sup>3</sup> de fibras se aumenta hasta un 20,42% y con la incorporación de 12,4 Kg/m<sup>3</sup> aumentamos un 26,37% de la tensión de rotura. Si hacemos un promedio obtenemos un aumento de la tensión de rotura en torno al 1,84% por cada kilogramo de fibra añadida por cada metro cúbico de hormigón.

Las fibras aumentan la energía absorbida por la viga y su tenacidad con un 16,47% en el caso de la adicción de 6,2Kg/m<sup>3</sup>. Un 18,99% de aumento del área de tenacidad en el caso de 9 kg/m<sup>3</sup> y un incremento del 43,71% con la incorporación de 12,4 kg/m<sup>3</sup>.

Realizando un promedio obtenemos un incremento del 2,76% del área de tenacidad por cada Kg/m<sup>3</sup> de fibras poliméricas.

Las fibras apenas intervienen en la resistencia a compresión tal y como se ha podido observar en los ensayos de rotura a compresión.

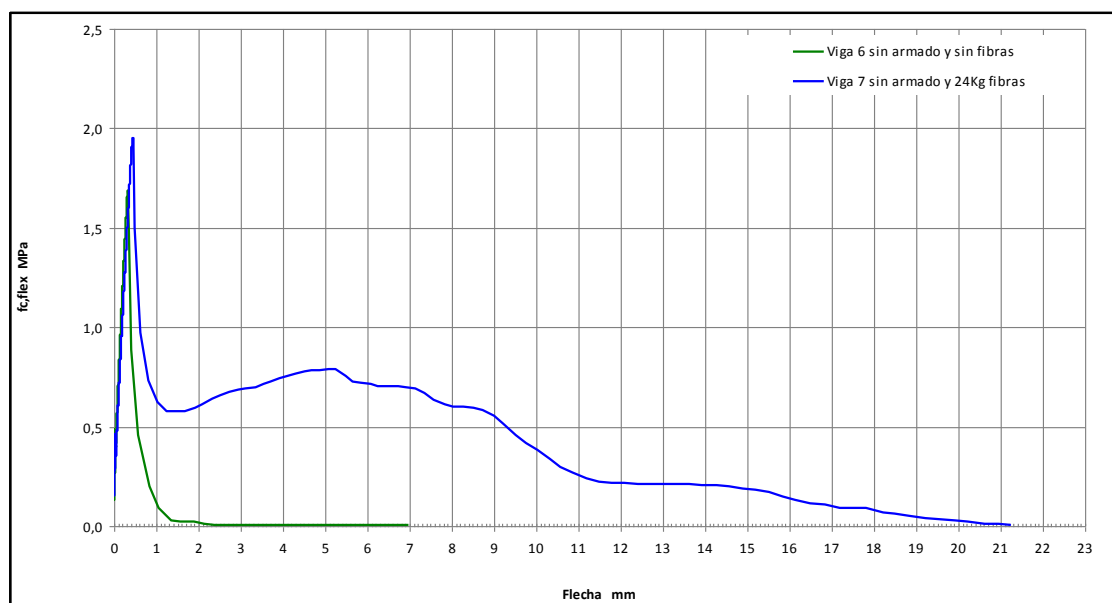
	Incrmento limite de rotura	Incremento de tenacidad
Viga 1 patrón	24,19 Mpa	-
Viga 2 armada 6,2kg	25,91 Mpa (7,11% mayor)	16,47%
Viga3 armada 9kg	29,13 Mpa (20,42% mayor)	18,99%
Viga 4 armada 12,4kg	30,57 Mpa (26,37% mayor)	43,71%
Incremento por Kg/m <sup>3</sup>	0,44 Mpa (1,84%)	2,76%

Para realizar una comparativa proporcional y adecuada nos hemos servido de los modelos que sean más equivalentes, en este caso con la misma disposición de armado y únicamente cambiando en contenido en fibras.

## 5.5.Comparativa de vigas sin armado.

Para poder evaluar simplemente la acción de las fibras poliméricas y su mejoría en la matriz hemos tomado la opción por hacer dos vigas sin armado. A la hora de realizar nuestro armado interviene la mano del hombre por lo que el armado y su disposición puede ser un elemento que indirectamente puede provocar pequeñas variaciones en el comportamiento de los mismos modelos de viga con el mismo tipo de armado.

Análisis de las vigas 6 (sin armado y sin fibras) y viga 7 (sin armado y 24 kg de fibras):



Tenacidades de vigas			
	RESILIENCIA (N-mm)	POST ROTURA (N-mm)	TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)
Viga 6 sin armado 0kg	585,77	537,11	1122,88
Viga 7 sin armado 24kg	857,14	7722,08	8579,22

En la gráfica comparativa se aprecia como con la incorporación de fibras logramos aumentar la tensión en el límite de rotura de la matriz y conseguimos una ductilidad mucho mayor que con la viga de matriz únicamente de hormigón.

Según nuestro estudio logramos aumentar la tensión de rotura en un 15,47% y la tenacidad y deformación aumenta en más de seis veces la del hormigón convencional.

## **5.6 Análisis de resultados promotor de adherencia**

Para el análisis de resultados de promotor de adherencia se analizan por las distintas cantidades de fibras empleadas, en este caso;

Inicialmente se analizan las amasadas de 6,2 Kg de fibras, con los correspondientes cantidades de promotor adherente en 1% y 2% tanto líquido como sólido, seguidamente se estudia una comparativa entre los valores más óptimos que cada amasada a obtenido entre las diferentes cantidades de promotor de adherencia.

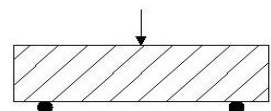
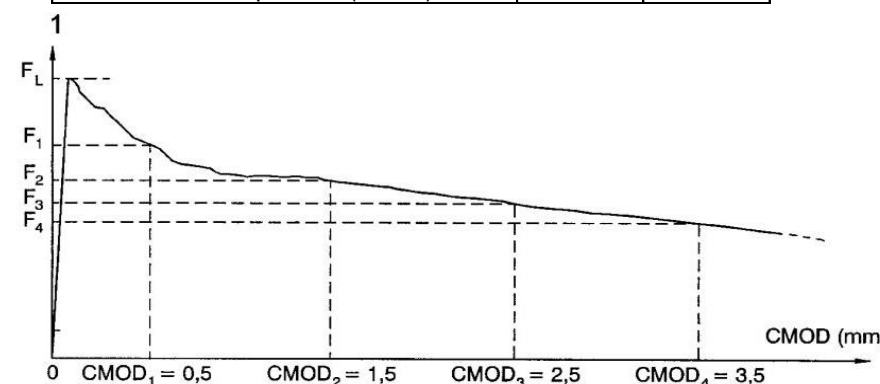
Posteriormente se analizan las cantidades de 9 Kg y 12 Kg de similar forma.

### 5.6.1 Fibras 6,2 kg Sin adherente

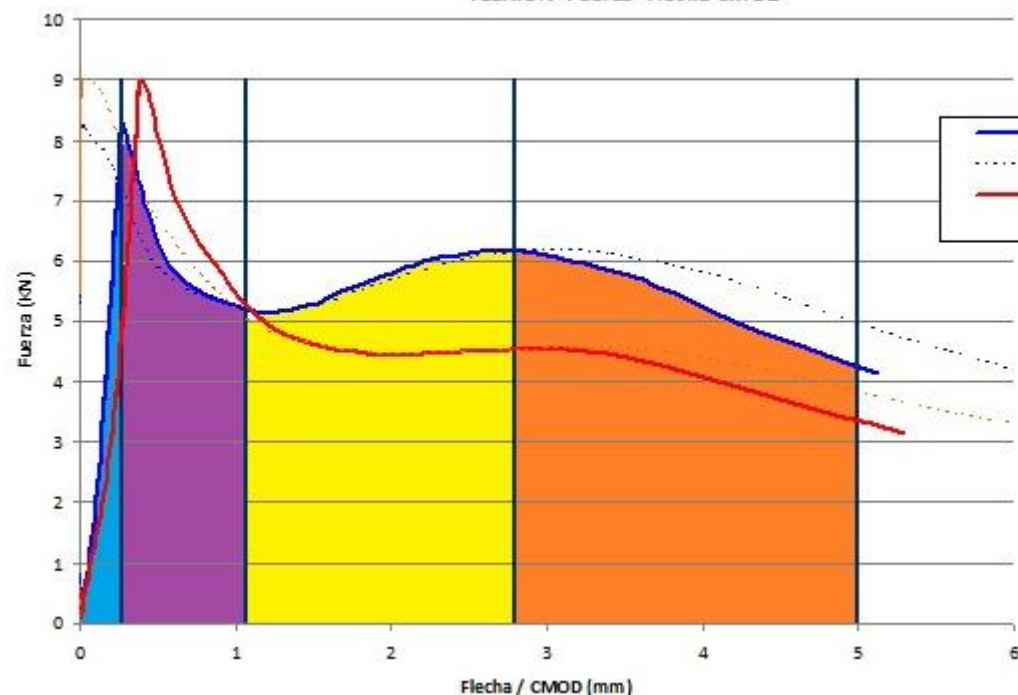
Dosificación		
Material	Ud.	6,2 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Relación a/c		0,6

Sin adherente	Sin adh 6,2 Kg	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	35,00	35,46
fc cubica (MPa)	38,83	41,41
E <sub>c</sub> (MPa)	27247	27914
fc,flex (MPa)	4,60	4,90
fc,flex Matriz (MPa)	4,60	4,90
fc,CMOD 0,05 (MPa)	3,11	3,75
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,32	3,37
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	2,98	2,48
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,36	2,47
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,37	2,51
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	42323	34109

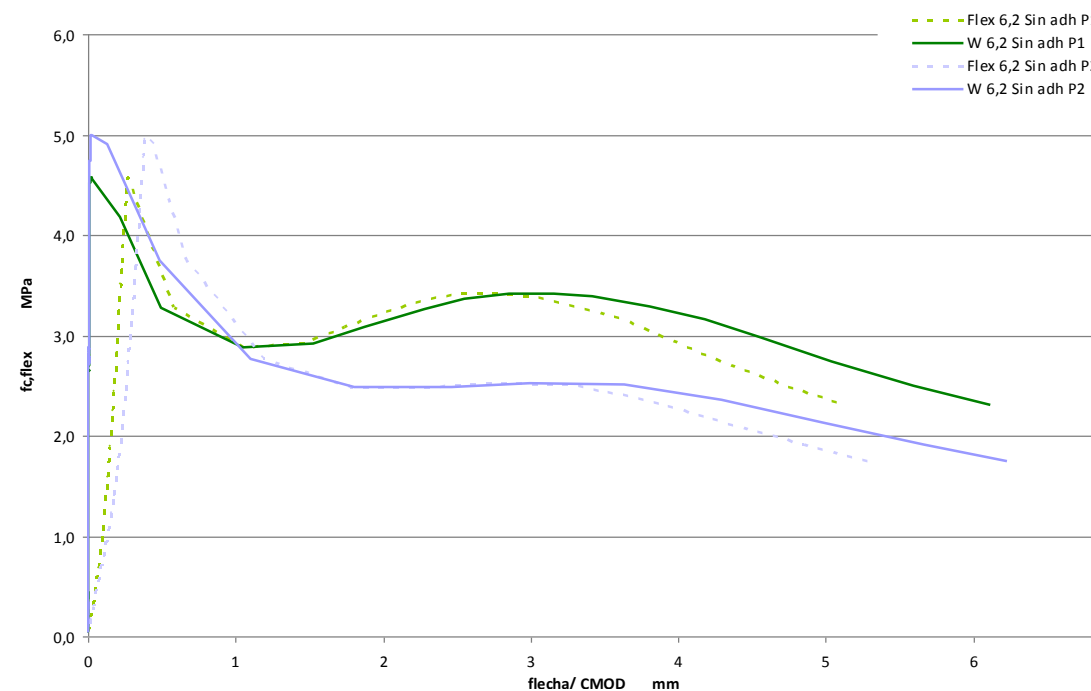
6,2 Kg Fibra T 60	SIN ADHERENTE	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	3.114	4.093
Ablandamiento (N-mm)	6.963	10.046
Endurecimiento (N-mm)	9.082	4.262
Post Rotura (N-mm)	13.270	9.388
Tenacidad Total flexión (N-mm)	32.429	27.790
Tenacidad a compresión (N-mm)	387.781	355.775



6,2 Kg Fibra Sin adherente  
FLEXIÓN Fuerza- Flecha CMOD



6,2 Kg Sin adherente  
FLEXIÓN Tensión - Flecha / CMOD



-La probeta 2 tiene una mayor capacidad en tensión máxima, mientras que la probeta 1 tiene un mejor comportamiento en fase de endurecimiento, esto es debido a la distinta distribución de fibras en ambas probetas.

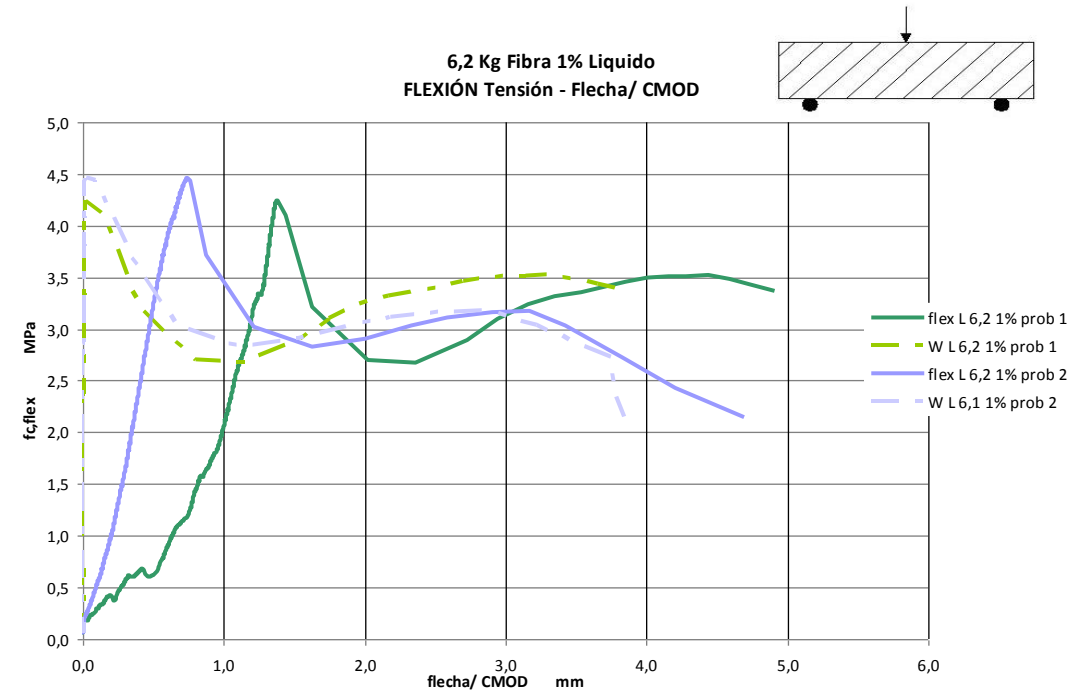
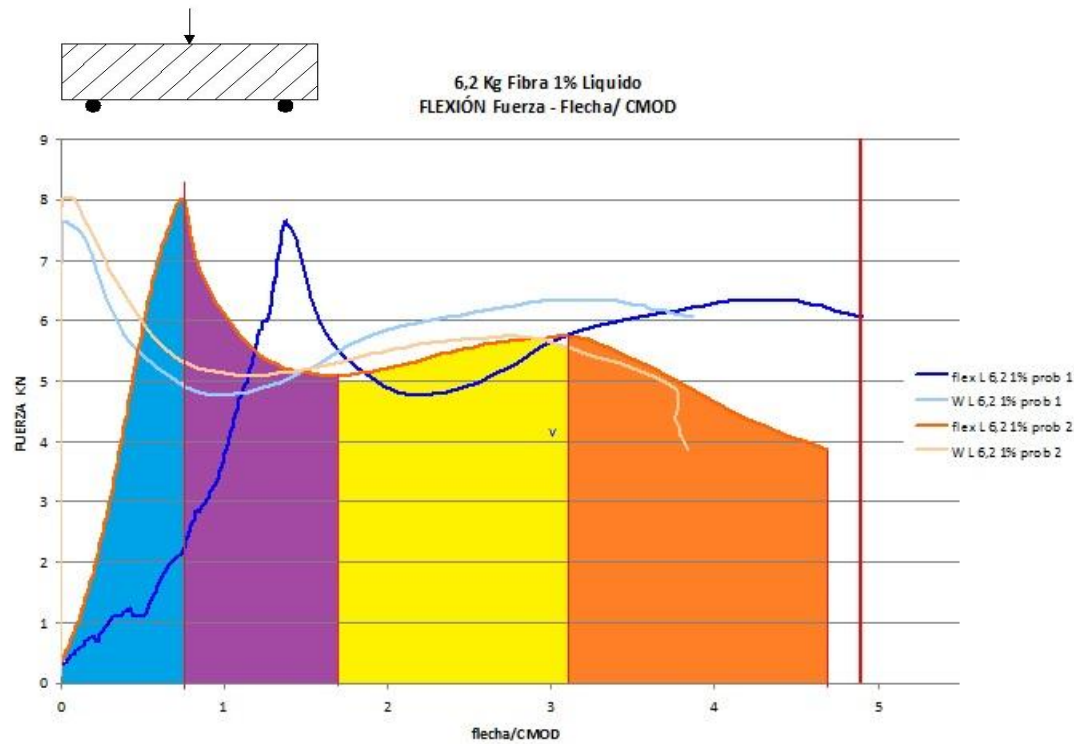
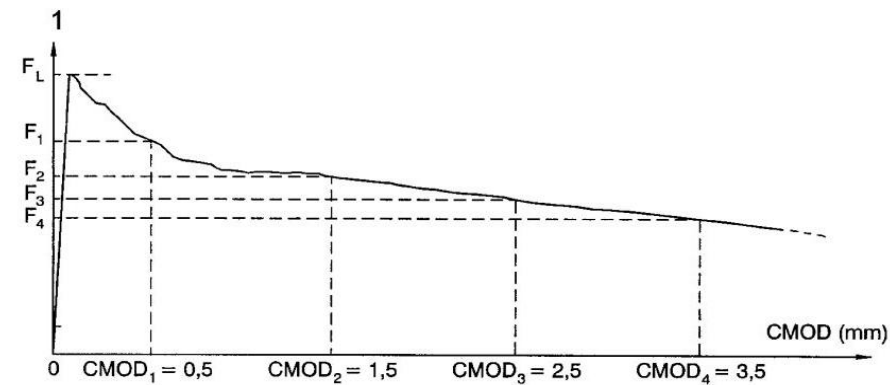
-Ambas probetas tienen un buen control de la fisuración gracias a la adición de fibras lo que hace aumentar la tenacidad y la cantidad de energía absorbida para romper el material.

### 5.6.2 Fibras 6,2 Kg 1% Líquido

Dosificación		
Material	Ud.	6,2 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor	Kg	3,25
Relación a/c		0,6

LÍQUIDO	6,2 Kg 1%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	36,32	37,68
fc cubica (MPa)	39,59	31,95
E <sub>C</sub> (MPa)	29130,05	29518,82
fc,flex (MPa)	4,24	4,45
fc,flex Matriz (MPa)	4,24	4,45
fc,CMOD 0,05 (MPa)	4,24	4,40
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	2,80	3,01
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	2,89	2,90
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,41	3,16
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,48	3,03
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	10551,94	10959,66

6,2 Kg Fibra T 60	1% LIQ	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N·mm)	4.983	4.363
Ablandamiento (N·mm)	6.846	7.030
Endurecimiento (N·mm)	11.178	7.898
Post Rotura (N·mm)	3.180	14.914
Tenacidad Total flexión (N·mm)	26.138	34.206
Tenacidad a compresión (N·mm)	889.799	879.628



\* Las irregularidades iniciales en la probeta 1 son debidas al ajuste de la máquina de ensayo cuando la maquina entra en carga.

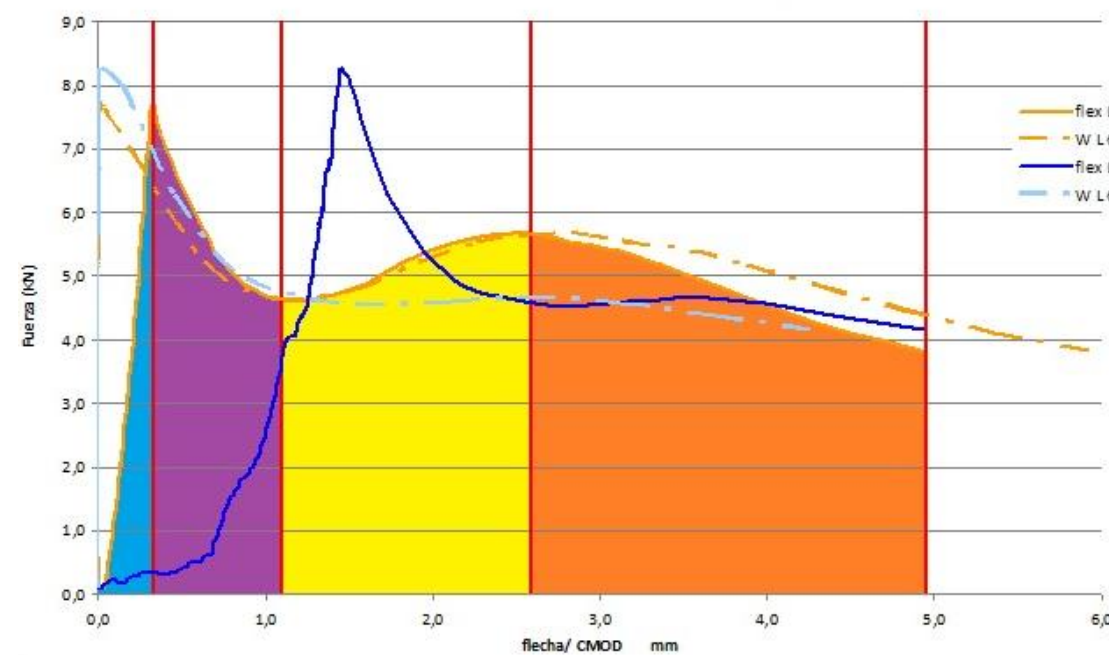
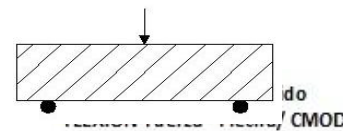
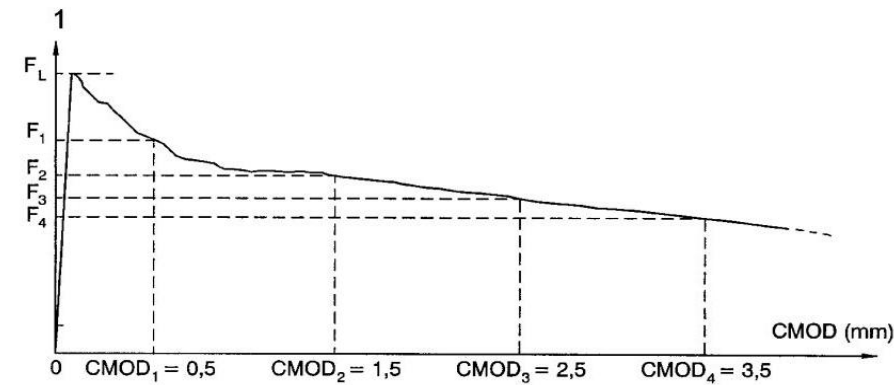
-La probeta 2 tiene una mayor capacidad en tensión máxima pero un peor comportamiento en fase de endurecimiento respecto a la probeta 1, la cual mantiene equivalentemente la apertura de fisura respecto a la deformación en flecha de la probeta.

### 5.6.3 Fibras 6,2 Kg 2% Líquido

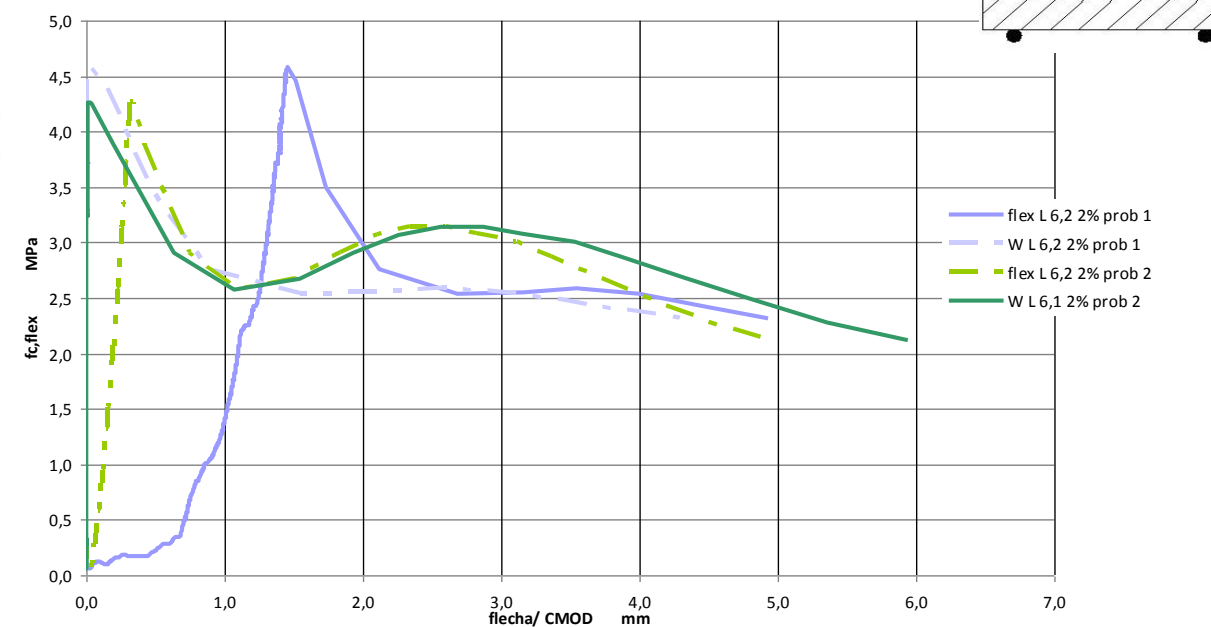
Dosificación		
Material	Ud.	6,2 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

LÍQUIDO	6,2 Kg 2%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	39,38	38,81
fc cubica (MPa)	34,07	31,83
$E_c$ (MPa)	31042,13	31302,86
fc,flex (MPa)	4,58	4,26
fc,flex Matriz (MPa)	4,58	4,26
fc,CMOD 0,05 (MPa)	4,58	4,24
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,49	2,90
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	2,53	2,67
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	2,58	3,13
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	2,43	3,01
$E_{FLEX}$ (MPa)	13179,00	30344,28

6,2 Kg Fibra T 60	2% LIQ	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N·mm)	6.244	3.039
Ablandamiento (N·mm)	8.634	6.247
Endurecimiento (N·mm)	5.918	7.013
Post Rotura (N·mm)	20.311	23.155
Tenacidad Total flexión (N·mm)	41.108	39.455
Tenacidad a compresión (N·mm)	416.474	893.685



6,2 Kg Fibra 2% Líquido  
FLEXIÓN Tensión - Flecha/ CMOD



\* Las irregularidades iniciales en la probeta 1 son debidas al ajuste de la máquina de ensayo cuando la maquina entra en carga.

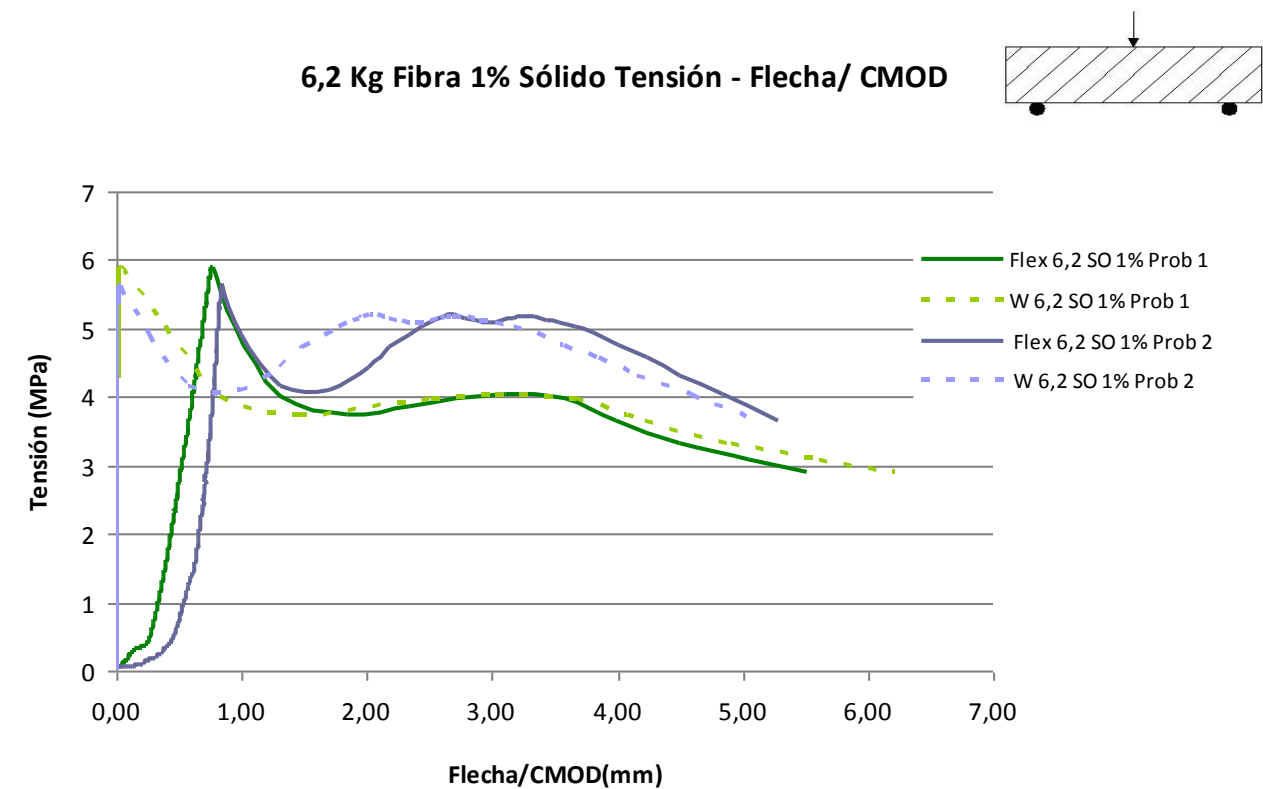
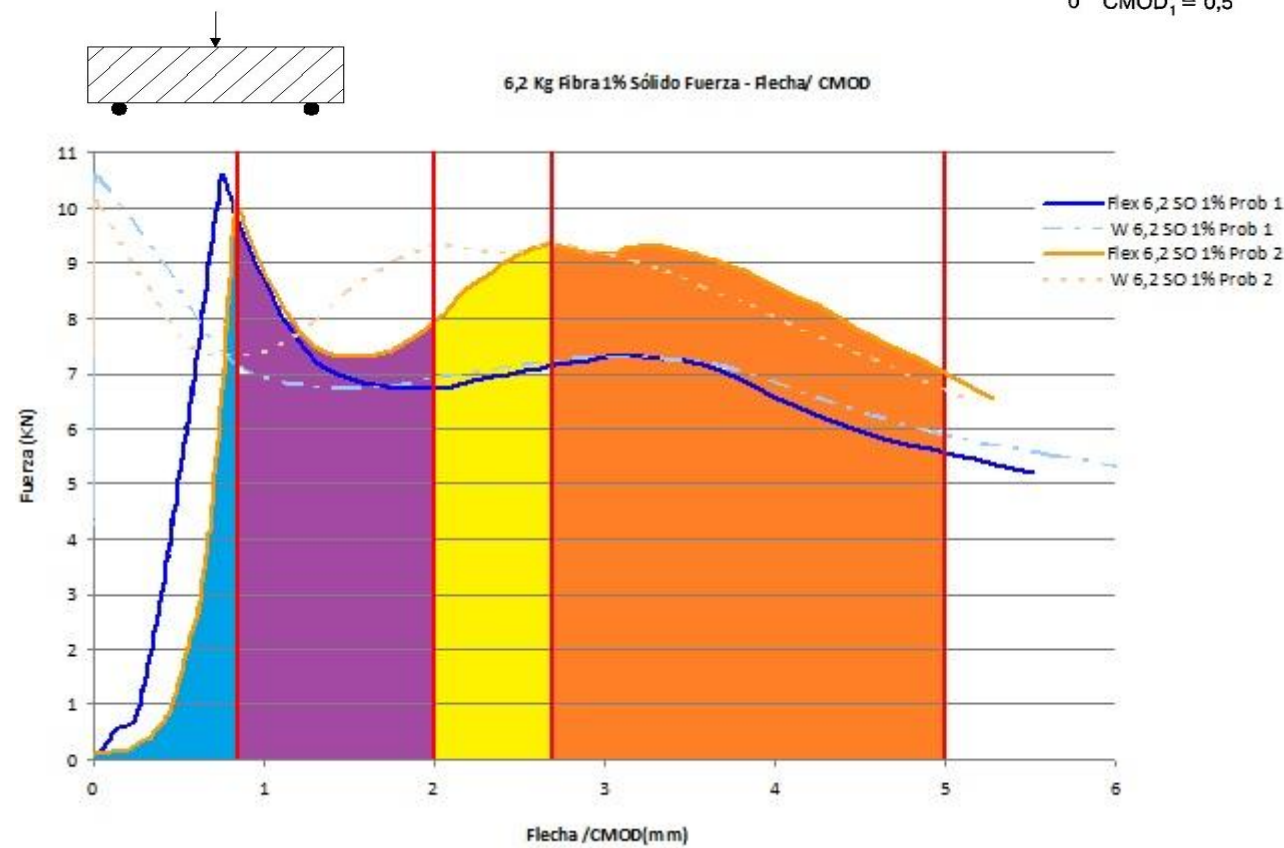
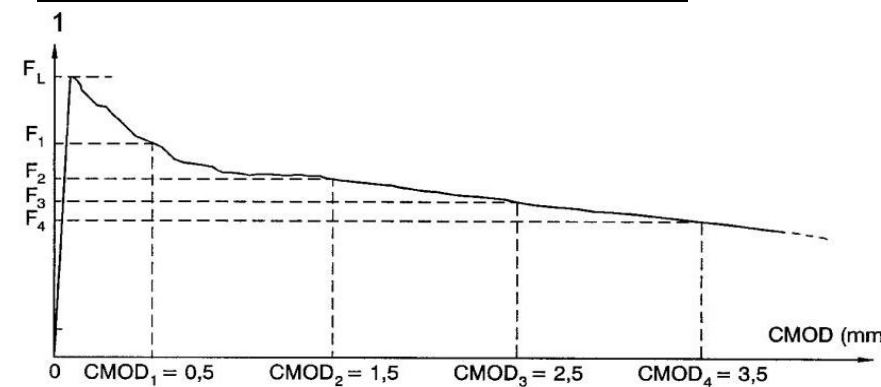
-La capacidad de tensión máxima es similar para ambas probetas pero la fase de endurecimiento es mejor en la probeta 2 puesto que aumenta la tensión teniendo un buen control de la fisuración, mientras que en la probeta 1 va disminuyendo.

### 5.6.4 6,2 Kg Fibras 1% Sólido

Dosificación		
Material	Ud.	6,2 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor	Kg	3,25
Relación a/c		0,6

SÓLIDO	6,2 Kg 1%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	36,32	37,68
fc cubica (MPa)	39,59	31,95
$E_c$ (MPa)	29130,05	29518,82
fc,flex (MPa)	5,89	5,63
fc,flex Matriz (MPa)	5,89	5,63
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,80	5,58
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	5,01	4,16
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	3,74	4,72
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,98	5,15
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,98	4,77
$E_{FLEX}$ (MPa)	10551,94	10959,66

6,2 Kg Fibra T 60	1% SO	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	7.122	6.634
Ablandamiento (N-mm)	14.539	1.617
Endurecimiento (N-mm)	8.903	5.514
Post Rotura (N-mm)	18.127	23.479
Tenacidad Total flexión (N-mm)	48.693	46.245
Tenacidad a compresión (N-mm)	590.547	298.202



-La capacidad de tensión máxima es similar para ambas probetas, la fase de endurecimiento es mejor en la probeta 1 puesto que aumenta ligeramente alargando la fase de endurecimiento mejorando su comportamiento a la fisuración, teniendo ésta una distribución de fibras homogénea en su sección.

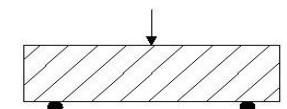
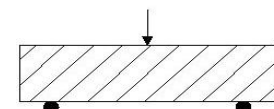
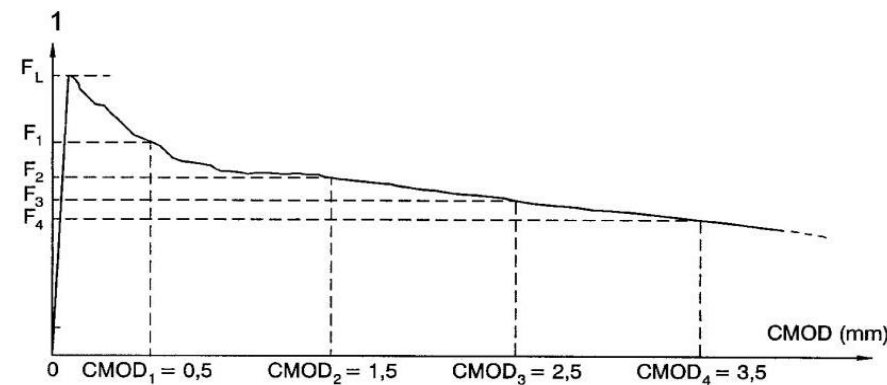


5.6.5 6,2 Kg Fibras 2% Sólido

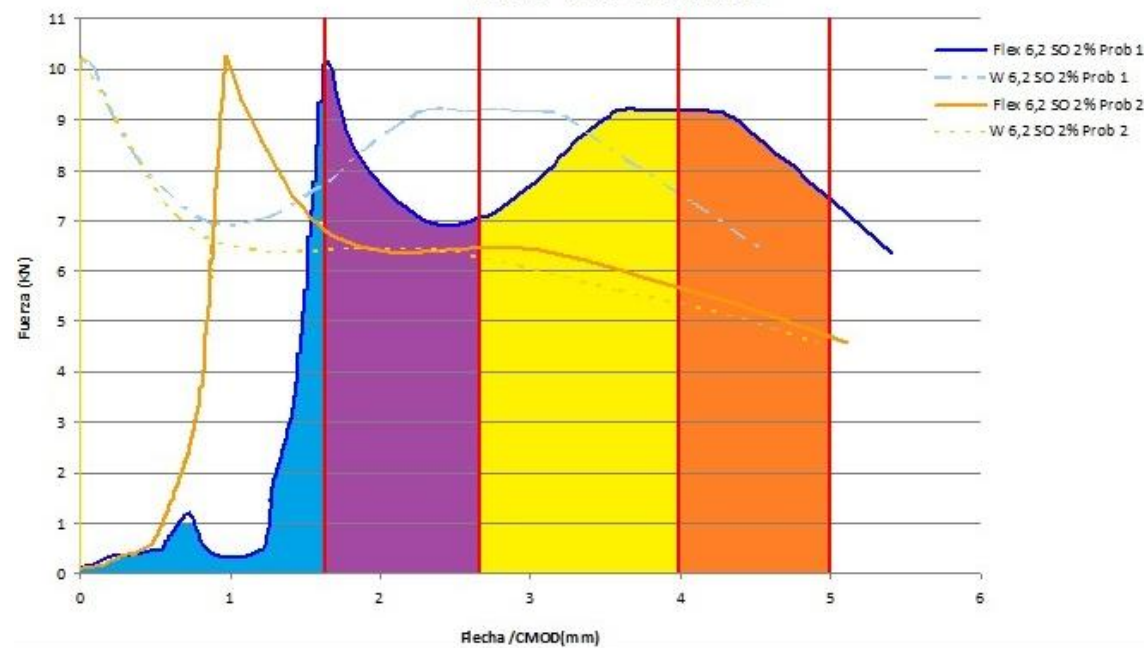
Dosificación		
Material	Ud.	6,2 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

SÓLIDO	6,2 Kg 2%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	51,938	51,278
fc cubica (MPa)	49,47	46,275
E <sub>C</sub> (MPa)	33740	34173
fc,flex (MPa)	5,642	5,69
fc,flex Matriz (MPa)	5,642	5,69
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,642	5
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,64	3,92
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	4,33	3,57
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	5,09	3,56
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	4,56	3,11
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	34563	43069

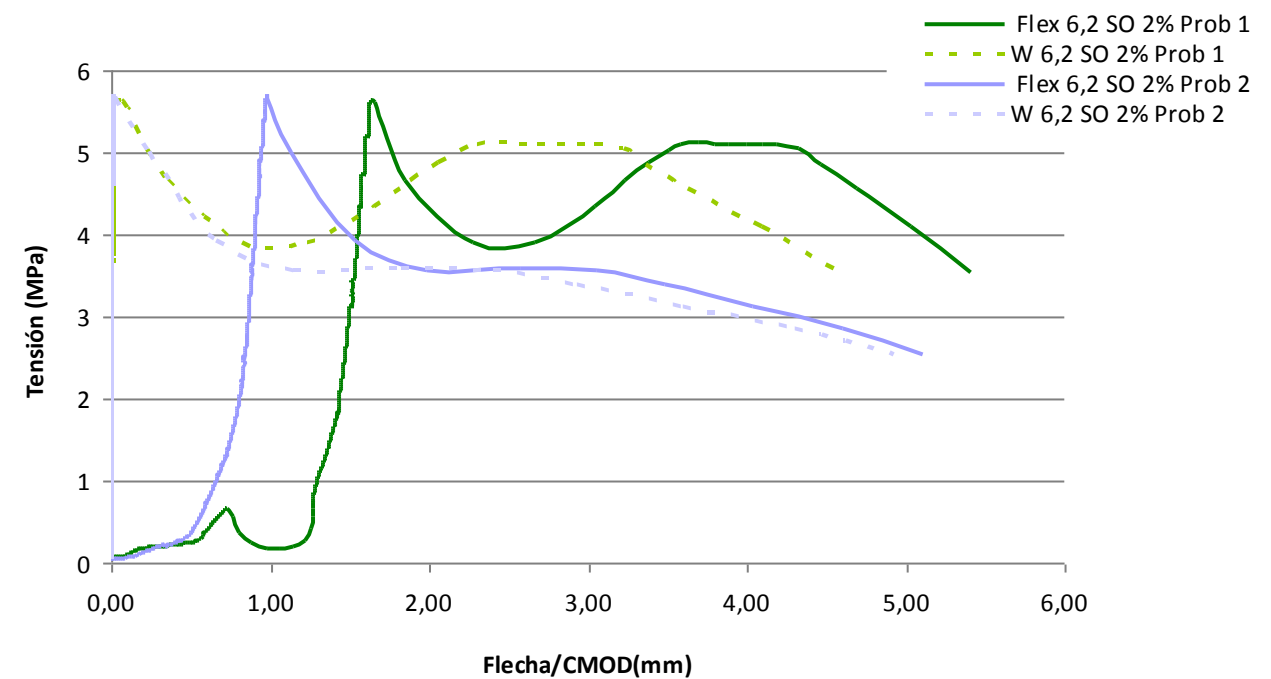
6,2 Kg Fibra T 60	2% SO	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N·mm)	7.531	5.906
Ablandamiento (N·mm)	10.769	11.565
Endurecimiento (N·mm)	9.323	3.121
Post Rotura (N·mm)	10.487	14.079
Tenacidad Total flexión (N·mm)	38.111	34.672
Tenacidad a compresión (N·mm)	526.676	796.536



6,2 Kg Fibra 2% Sólido  
FLEXIÓN Fuerza - Flecha/ CMOD



6,2 Kg Fibra 2% Sólido Tensión - Flecha/ CMOD



\* Las irregularidades iniciales en la probeta 1 son debidas al ajuste de la máquina de ensayo cuando la maquina entra en carga.

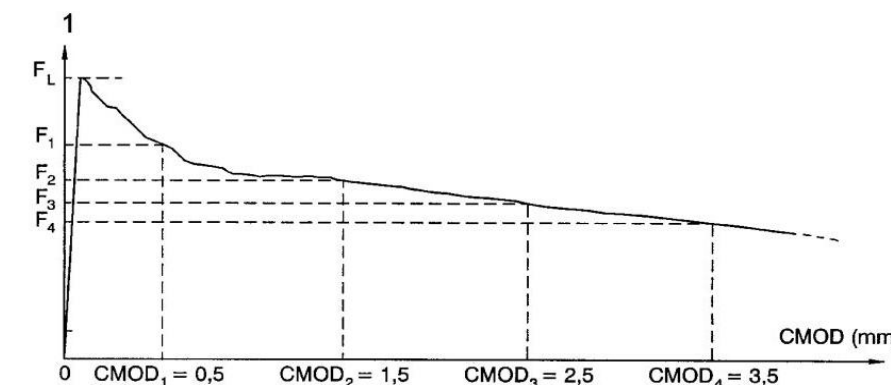
-La capacidad de tensión máxima es similar para ambas probetas pero la fase de endurecimiento es mejor en la probeta 1 puesto que aumenta la tensión notablemente casi hasta valores de la tensión máxima, encontrándose las fibras en la zona inferior de la probeta

5.6.6 6,2 Kg Fibras análisis todas

Dosificación		
Material	Ud.	6,2 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor 1%	Kg	3,25
Promotor 2%	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

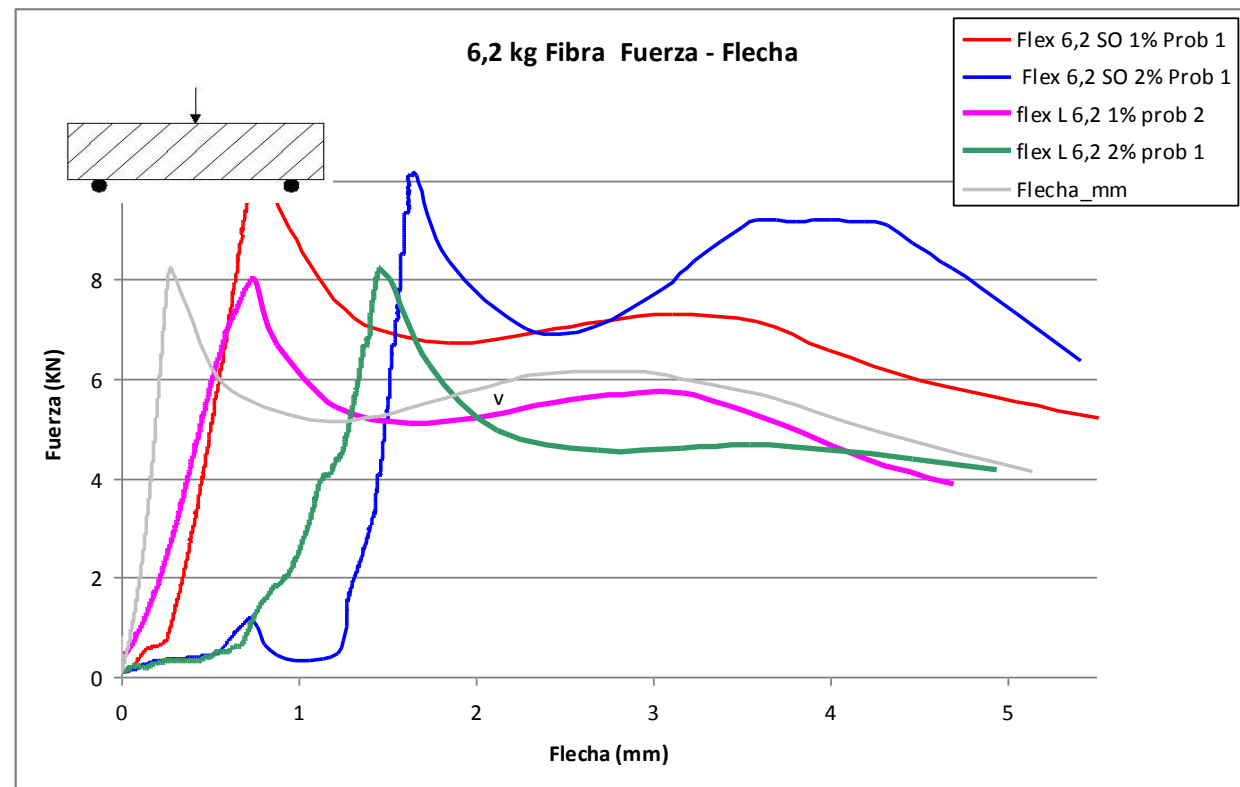
6,2 Kg Fibras Polimerica T60	Sin adh 6,2 Kg		6,2 Kg 1% LIQUIDO		6,2 Kg 2% LIQUIDO		6,2 Kg 1% SÓLIDO		6,2 Kg 2% SÓLIDO	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	35,00	35,46	36,32	37,68	39,38	38,81	36,32	37,68	51,938	51,278
fc cubica (MPa)	38,83	41,41	39,59	31,95	34,07	31,83	39,59	31,95	49,47	46,275
E <sub>C</sub> (MPa)	27247	27914	29130,05	29518,82	31042,13	31302,86	29130,05	29518,82	33740	34173
fc,flex (MPa)	4,60	4,90	4,24	4,45	4,58	4,26	5,89	5,63	5,642	5,69
fc,flex Matriz (MPa)	4,60	4,90	4,24	4,45	4,58	4,26	5,89	5,63	5,642	5,69
fc,CMOD 0,05 (MPa)	3,11	3,75	4,24	4,40	4,58	4,24	5,80	5,58	5,642	5
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,32	3,37	2,80	3,01	3,49	2,90	5,01	4,16	4,64	3,92
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	2,98	2,48	2,89	2,90	2,53	2,67	3,74	4,72	4,33	3,57
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,36	2,47	3,41	3,16	2,58	3,13	3,98	5,15	5,09	3,56
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,37	2,51	3,48	3,03	2,43	3,01	3,98	4,77	4,56	3,11
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	42323	34109	10551,94	10959,66	13179,00	30344,28	10551,94	10959,66	34563	43069

6,2 Kg Fibra T 60	SIN ADHERENTE		1% LIQ		2% LIQ		1% SO		2% SO	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N·mm)	3.114	4.093	4.983	4.363	6.244	3.039	7.122	6.634	7.531	5.906
Ablandamiento (N·mm)	6.963	10.046	6.846	7.030	8.634	6.247	14.539	1.617	10.769	11.565
Endurecimiento (N·mm)	9.082	4.262	66	7.898	5.918	7.013	8.903	5.514	9.323	3.121
Post Rotura (N·mm)	13.270	9.388	3.180	14.914	20.311	23.155	18.127	23.479	10.487	14.079
Tenacidad Total flexión (N·mm)	32.429	27.790	26.138	34.206	41.108	39.455	48.693	46.245	38.111	34.672
Tenacidad a compresión (N·mm)	387.781	355.775	889.799	879.628	416.474	893.685	590.547	298.202	526.676	796.536



Para dicha comparación entre distintos tipos de promotores se selecciona una probeta por tipo de cantidad añadida, en este caso son:

- Sin adherente Probeta 1
- Líquido 1% Probeta 2
- Líquido 2% Probeta 1
- Sólido 1% Probeta 1
- Sólido 2% Probeta 1

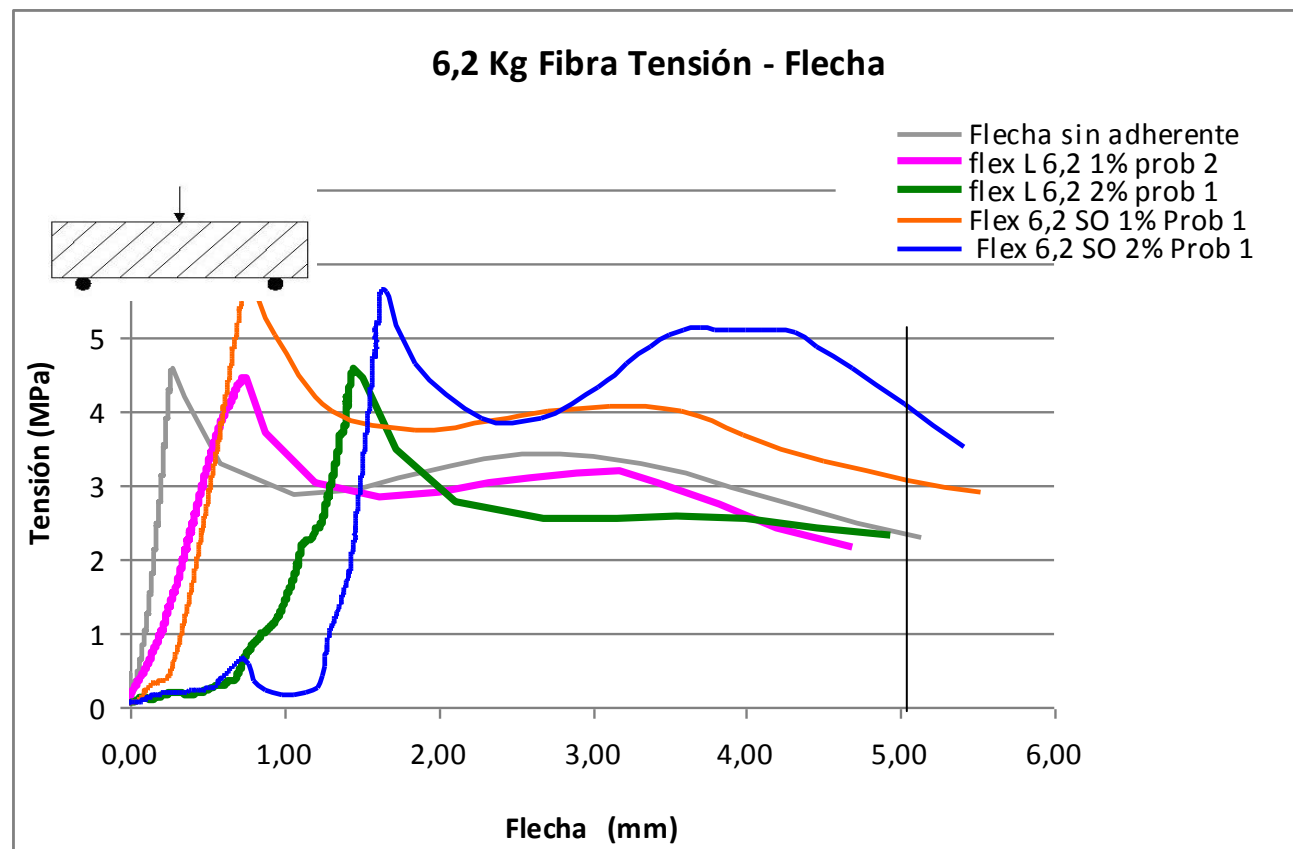


\* Las irregularidades iniciales en probetas solido 2% y Liquido 2% son debidas al ajuste de la máquina de ensayo cuando la maquina entra en carga.

- Podemos comprobar que la rotura de la matriz es similar para las amasadas sin adherente, 1% y 2% liquido, aumentando ésta para 1% y 2% sólido, puede ser debido a que el adherente solido es polvo fino aumentando la adherencia de la matriz.

-En la fase de endurecimiento la probeta de 2% sólido sufre un incremento, a causa de la acumulación de fibras en esa zona de la sección, en las demás probetas la distribución de fibras es homogénea manteniendo un buen control sobre la flecha y fisuración de la probeta. El descenso en Liquido 2% sin apenas endurecimiento es debido a la mala distribución de fibras en la parte inferior de la probeta.

- En este caso podemos concluir que el promotor adherente solido incrementa la resistencia de la matriz, y aumenta la fase de endurecimiento, incrementando así los valores de tenacidad total de la probeta.



6,2 Fibras 1% liquido



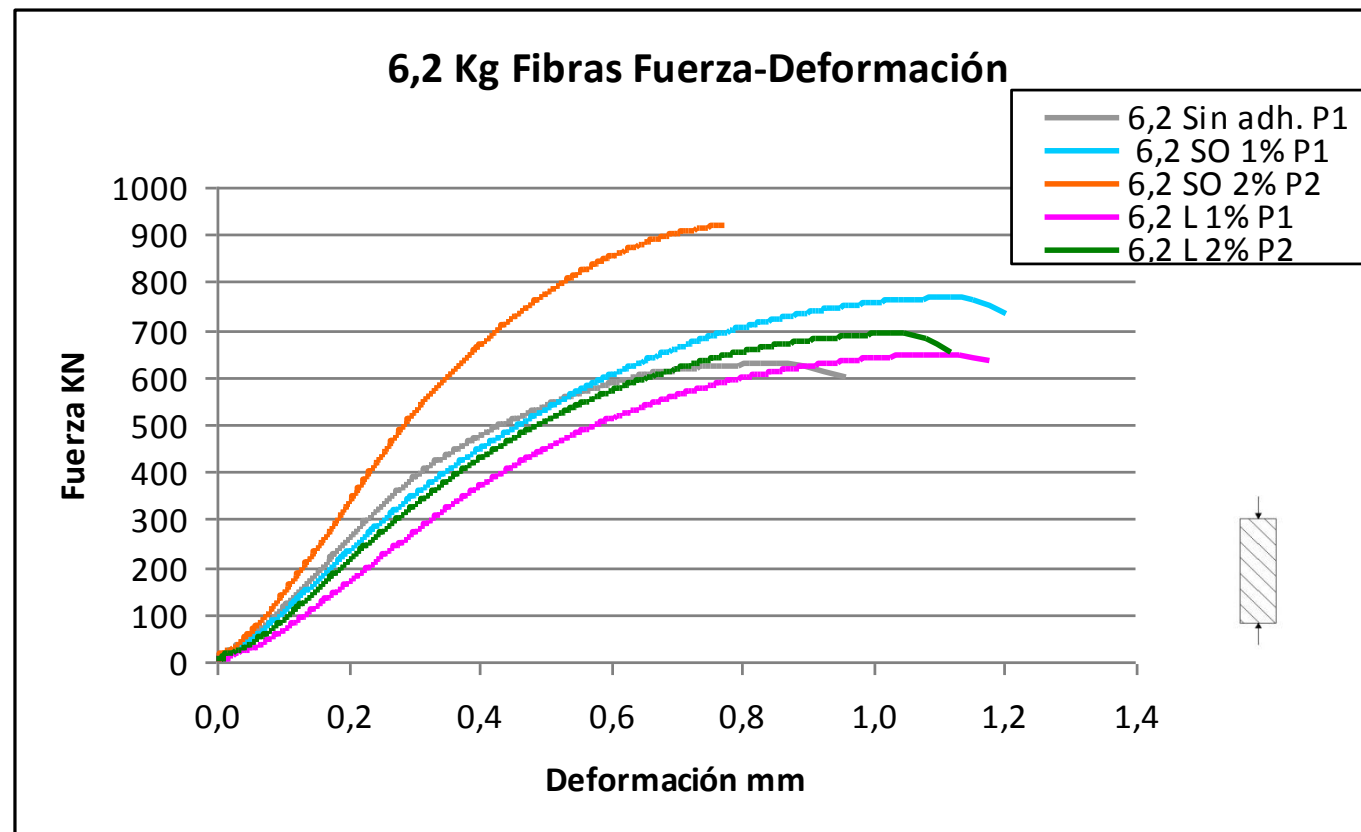
6,2 Fibras 2% liquido



6,2 Fibras 1% Solido



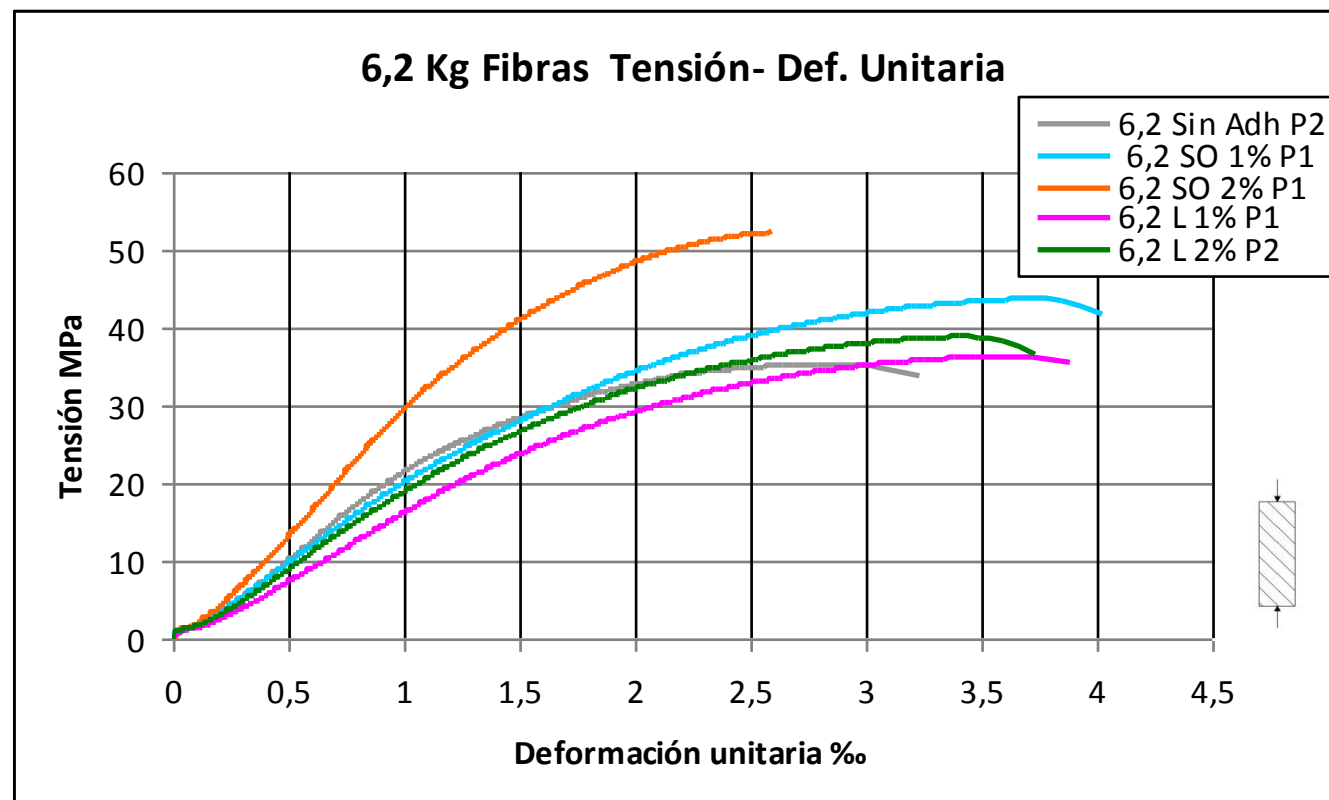
6,2 Fibras 2% Solido



El resultado en los ensayos de compresión son similares para todas las amasadas excepto para la amasada de solido 2%, podemos observar que aumenta la resistencia y desciende su deformación.

Se puede observar como para una misma cantidad de fibras y distinto porcentajes de promotor adherente, la probeta sin adherente es la de menor tenacidad en compresión.

Aunque la resistencia a compresión no debería verse afectada significativamente por el contenido de fibras, podemos concluir que la adición de promotor adherente mejora la resistencia a compresión, aumentando resistencia y deformación.

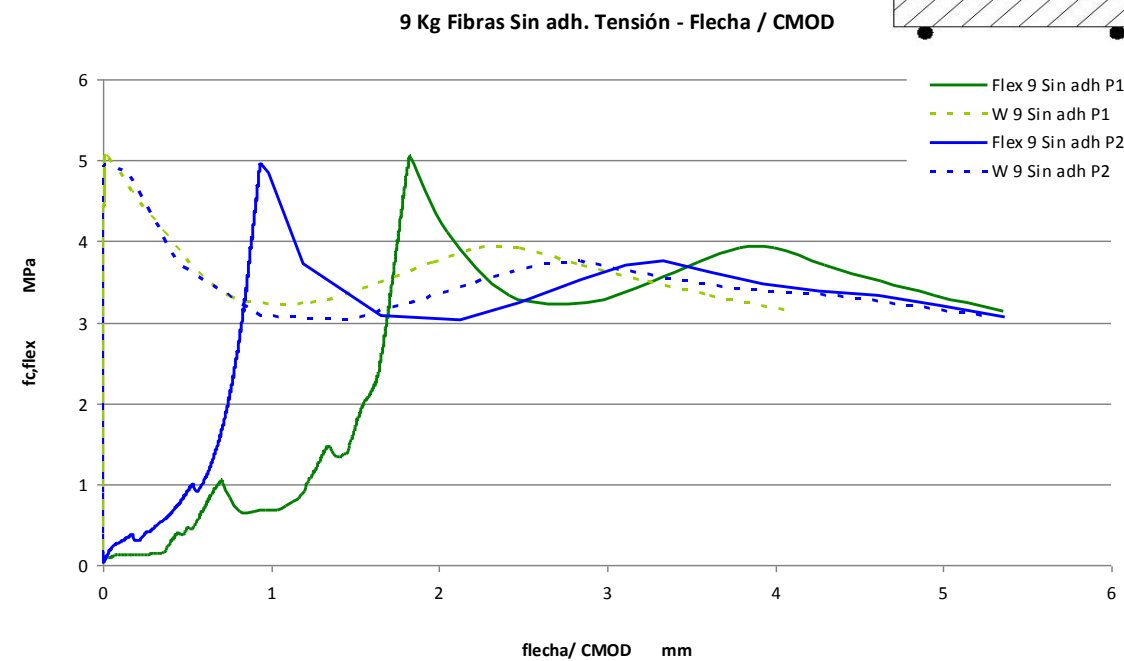
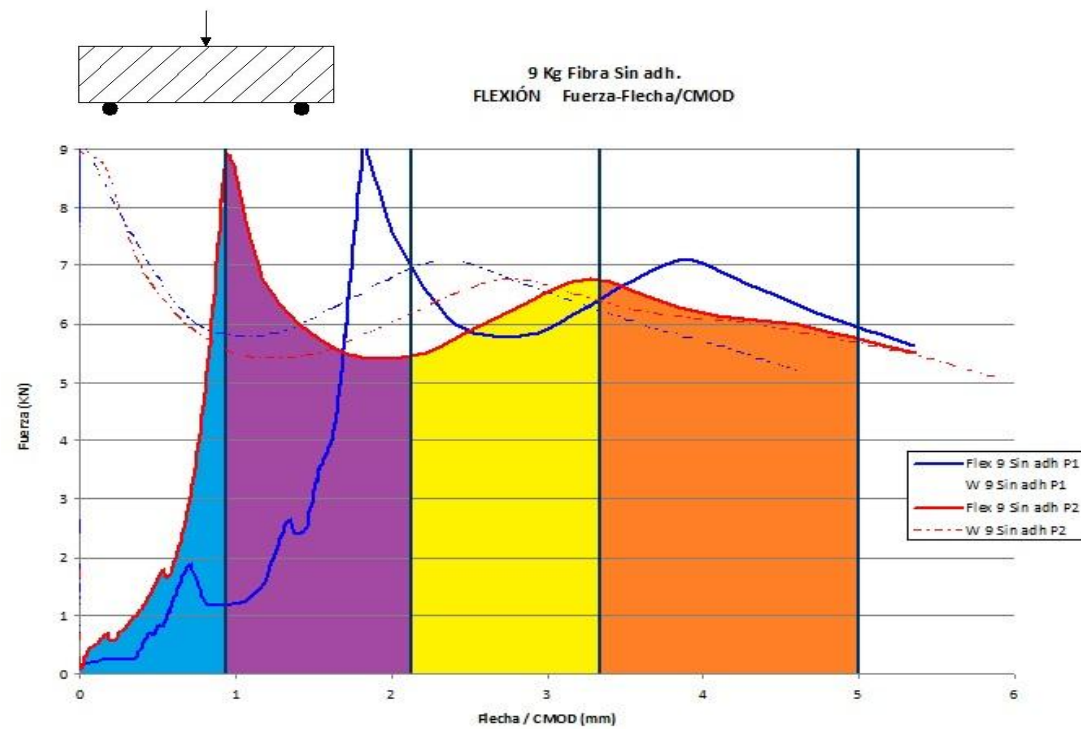
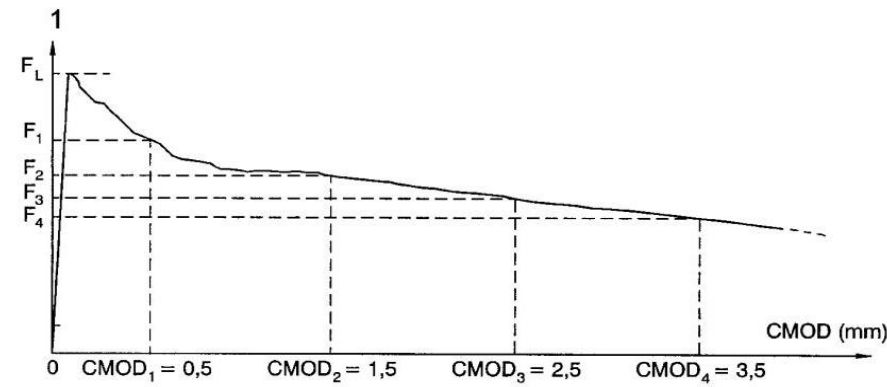


5.6.7. 9 Kg Fibras Sin adherente

Dosificación		
Material	Ud.	9 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	9

Sin adherente	Sin adh 9 Kg	
	P1	P2
$f_c$ cilíndrica (MPa)	38,26	37,39
$f_c$ cubica (MPa)	42,24	41,67
$E_c$ (MPa)	29606	28972
$f_{c,flex}$ (MPa)	5,05	4,95
$f_{c,flex}$ Matriz (MPa)	5,05	4,95
$f_{c,CMOD}$ 0,05 (MPa)	5,01	4,95
$f_{c,flex}$ F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,00	3,71
$f_{c,flex}$ F2 CMOD 1,5mm (MPa)	3,49	3,03
$f_{c,flex}$ F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,91	3,71
$f_{c,flex}$ F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,32	3,46
$E_{FLEX}$ (MPa)	25627	28944,12

9 Kg Fibra T 60	SIN ADHERENTE	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	5.421	4.685
Ablandamiento (N-mm)	9.223	8.986
Endurecimiento (N-mm)	7.072	7.330
Post Rotura (N-mm)	8.939	12.828
Tenacidad Total flexión (N-mm)	30.656	33.832
Tenacidad a compresión (N-mm)	438.770	275.341



\* Las irregularidades iniciales en las probetas son debidas al ajuste de la máquina de ensayo cuando la maquina entra en carga.

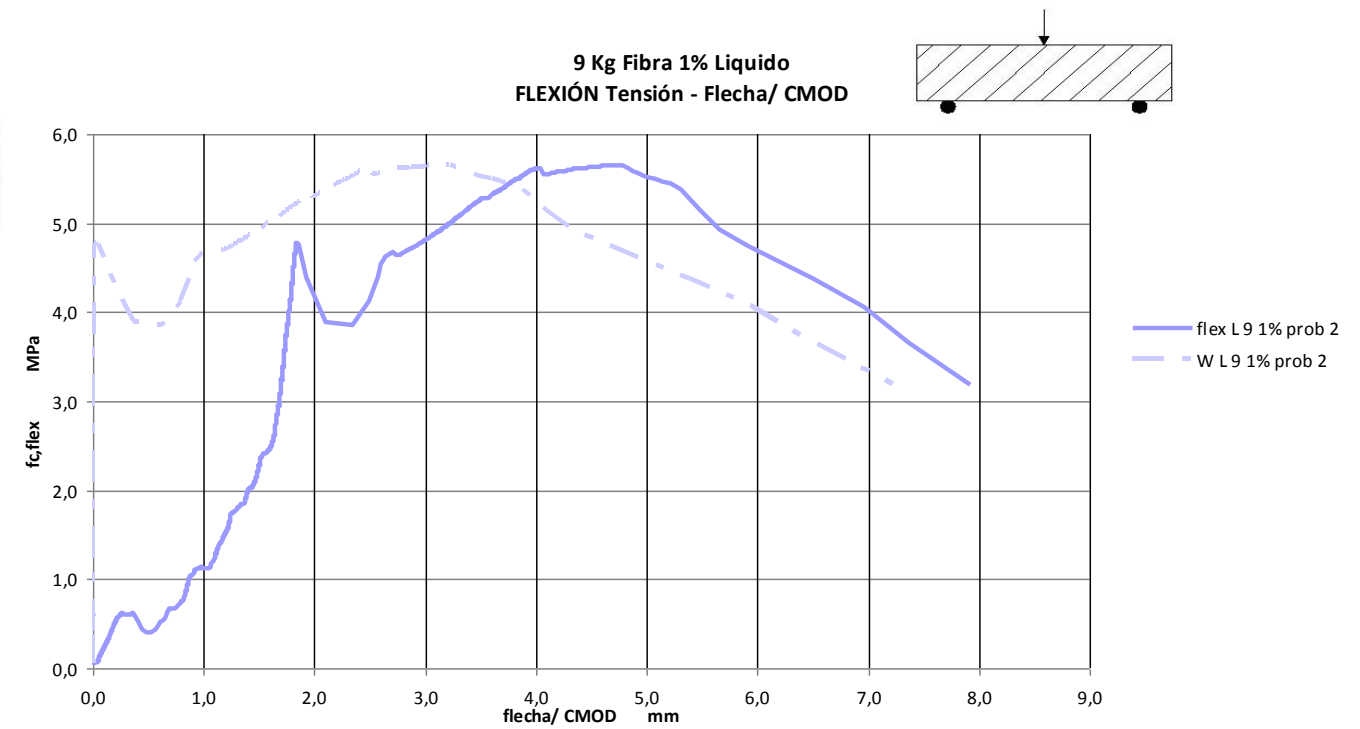
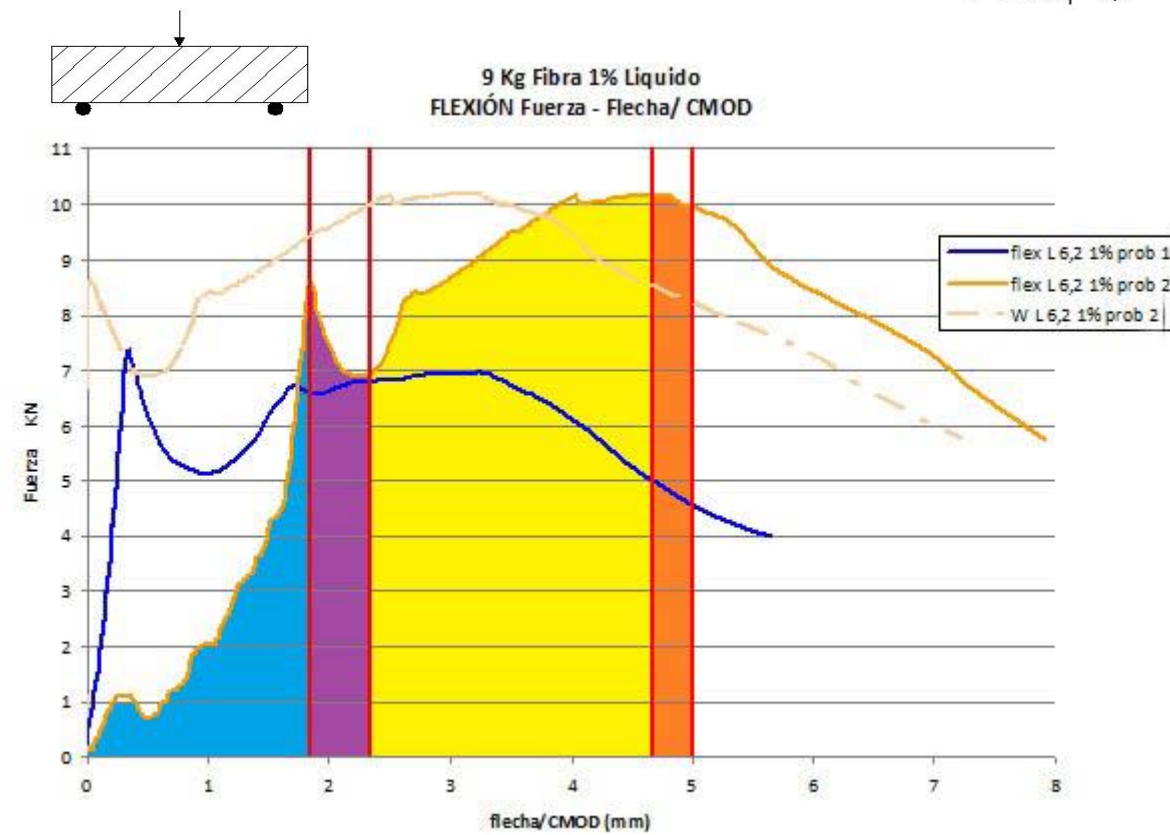
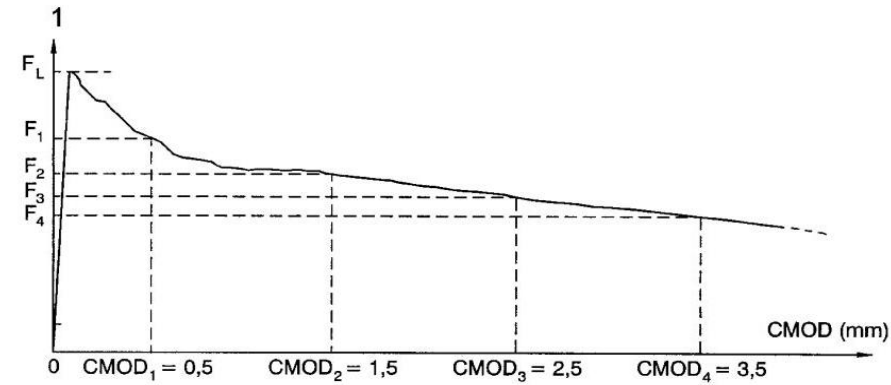
-Observamos que los resultados son semejantes para ambas probetas, teniendo un buen comportamiento ante el control de la fisuración mediante las fibras, puesto que 9 Kg empieza a ser una cantidad importante de fibras.

5.6.8. 9 Kg Fibras 1% Líquido

Dosificación		
Material	Ud.	9 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl.	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor	Kg	3,25
Relación a/c		0,6

LÍQUIDO	9 Kg 1%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	40,17	38,92
fc cubica (MPa)	36,66	42,42
E <sub>c</sub> (MPa)	30446,39	29722,58
fc,flex (MPa)	4,08	5,64
fc,flex Matriz (MPa)	4,08	4,75
fc,CMOD 0,05 (MPa)	*	4,75
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	*	3,85
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	*	4,93
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	*	5,62
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	*	5,52
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	26592,59	17272,72

9 Kg Fibra T 60	1% LIQ	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N·mm)	2.989	6.786
Ablandamiento (N·mm)	12.615	4.098
Endurecimiento (N·mm)	6.169	21.726
Post Rotura (N·mm)	12.666	3.427
Tenacidad Total flexión (N·mm)	34.441	36.038
Tenacidad a compresión (N·mm)	663 330	464 456



\* Las irregularidades iniciales en la probeta 1 son debidas al ajuste de la máquina de ensayo cuando la maquina entra en carga. El captador de abertura de fisura falló en la probeta 1.

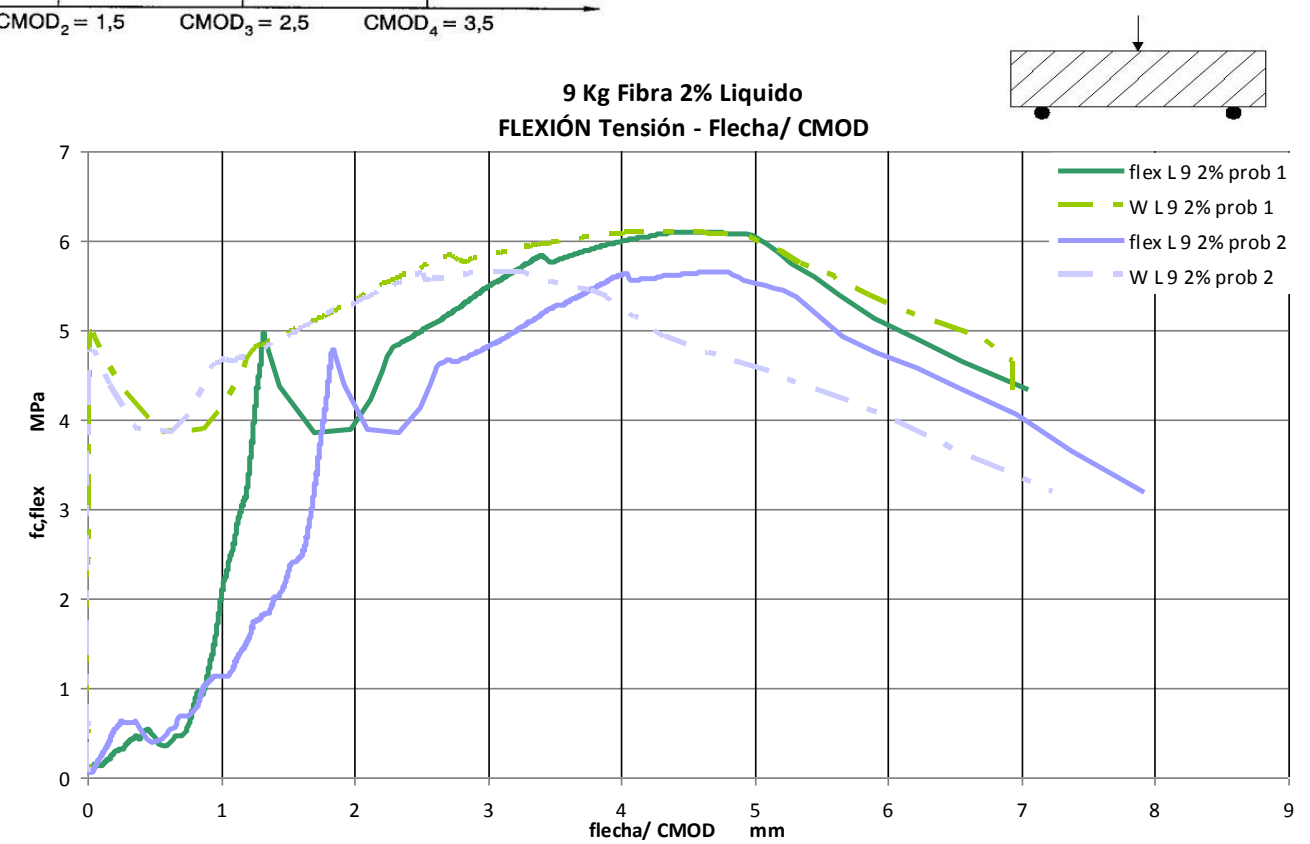
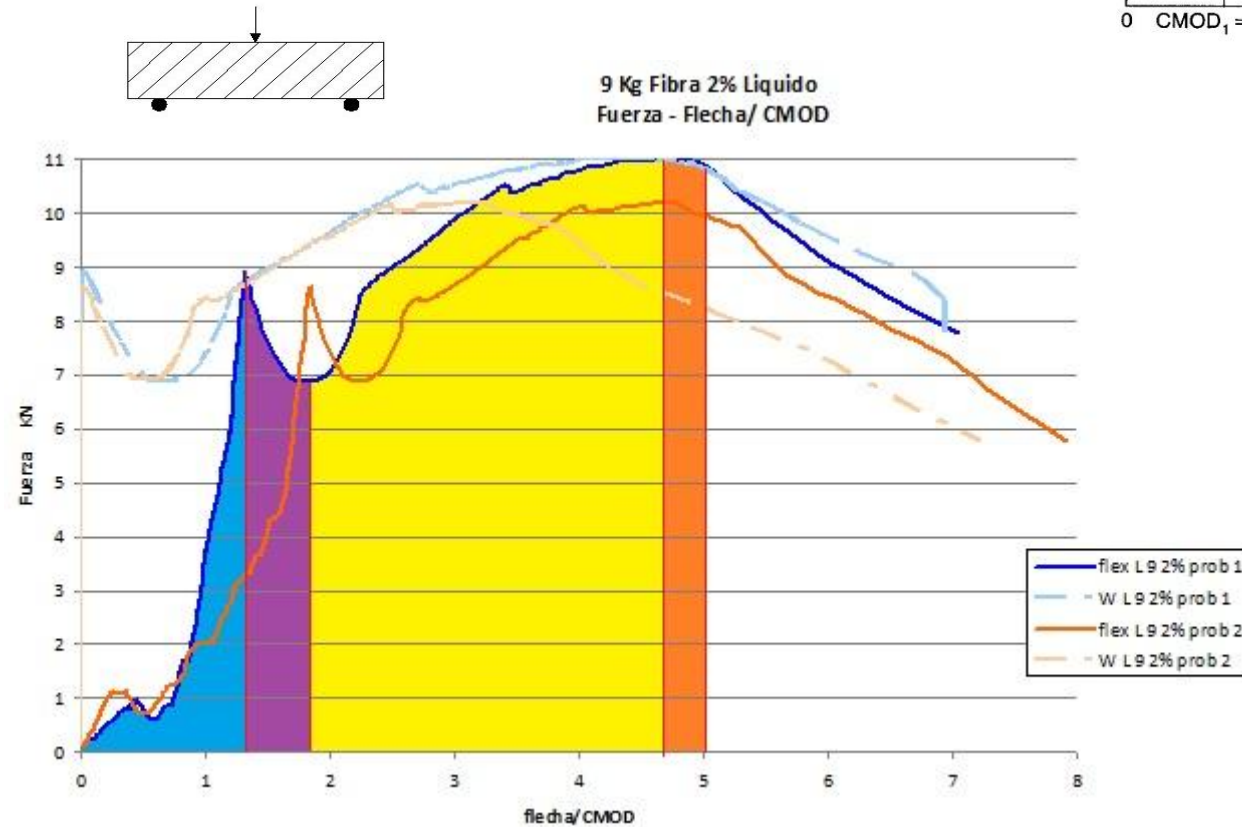
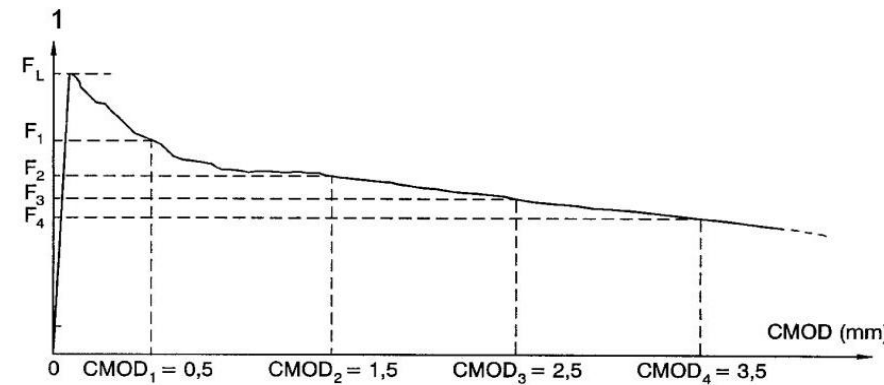
-La capacidad de tensión máxima es superior a la tensión máxima de la matriz, en la fase de endurecimiento hay un aumento de tensión, es el comportamiento idóneo para el hormigón con fibras, puesto que éstas mantienen el control de la fisuración, y siendo equivalentes la abertura de fisura y la flecha.

### 5.6.9. 9 Kg Fibras 2 % Líquido

Dosificación		
Material	Ud.	9 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	9
Promotor	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

LÍQUIDO	9 Kg 2%	
	P1	P2
$f_c$ cilíndrica (MPa)	40,36	44,59
$f_c$ cubica (MPa)	38,74	38,36
$E_c$ (MPa)	29221,55	29884,35
$f_{c,flex}$ (MPa)	6,07	5,65
$f_{c,flex}$ Matriz (MPa)	4,91	4,78
$f_{c,CMOD 0,05}$ (MPa)	4,91	4,76
$f_{c,flex F1 CMOD 0,5 mm}$ (MPa)	3,84	3,85
$f_{c,flex F2 CMOD 1,5mm}$ (MPa)	4,96	4,93
$f_{c,flex F3 CMOD 2,5 mm}$ (MPa)	5,70	5,62
$f_{c,flex F4 CMOD 3,5 mm}$ (MPa)	5,98	5,52
$E_{FLEX}$ (MPa)	17346,15	13562,50

9 Kg Fibra T 60	2% LIQ	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	6.030	6.207
Ablandamiento (N-mm)	4.874	4.676
Endurecimiento (N-mm)	29.755	2.206
Post Rotura (N-mm)	1.573	3.093
Tenacidad Total flexión (N-mm)	42.234	36.038
Tenacidad a compresión (N-mm)	256.897	685.432



\* Las irregularidades iniciales en las probetas son debidas al ajuste de la máquina de ensayo cuando la maquina entra en carga. El captador de abertura de fisura falló en la probeta 1.

-La capacidad de tensión máxima es superior a la tensión máxima de la matriz en ambas probetas, en la fase de endurecimiento hay un aumento de tensión casi del 20% respecto a la matriz.

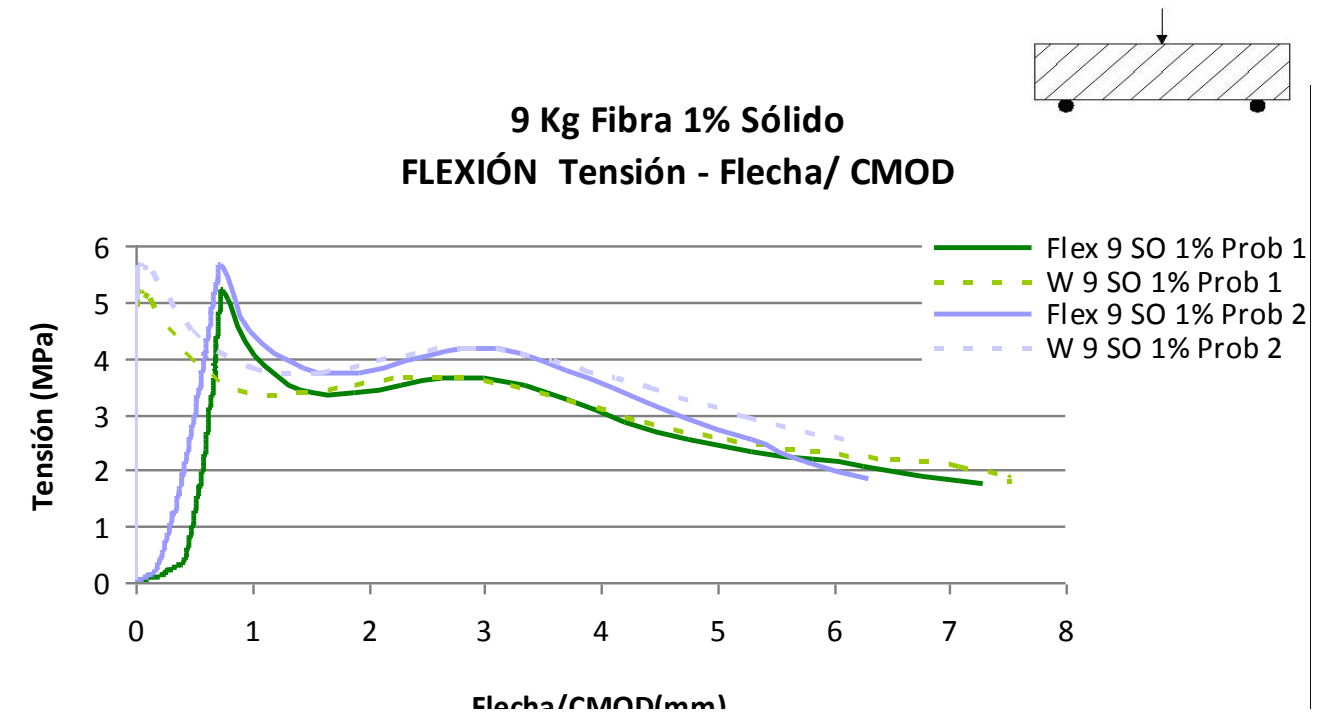
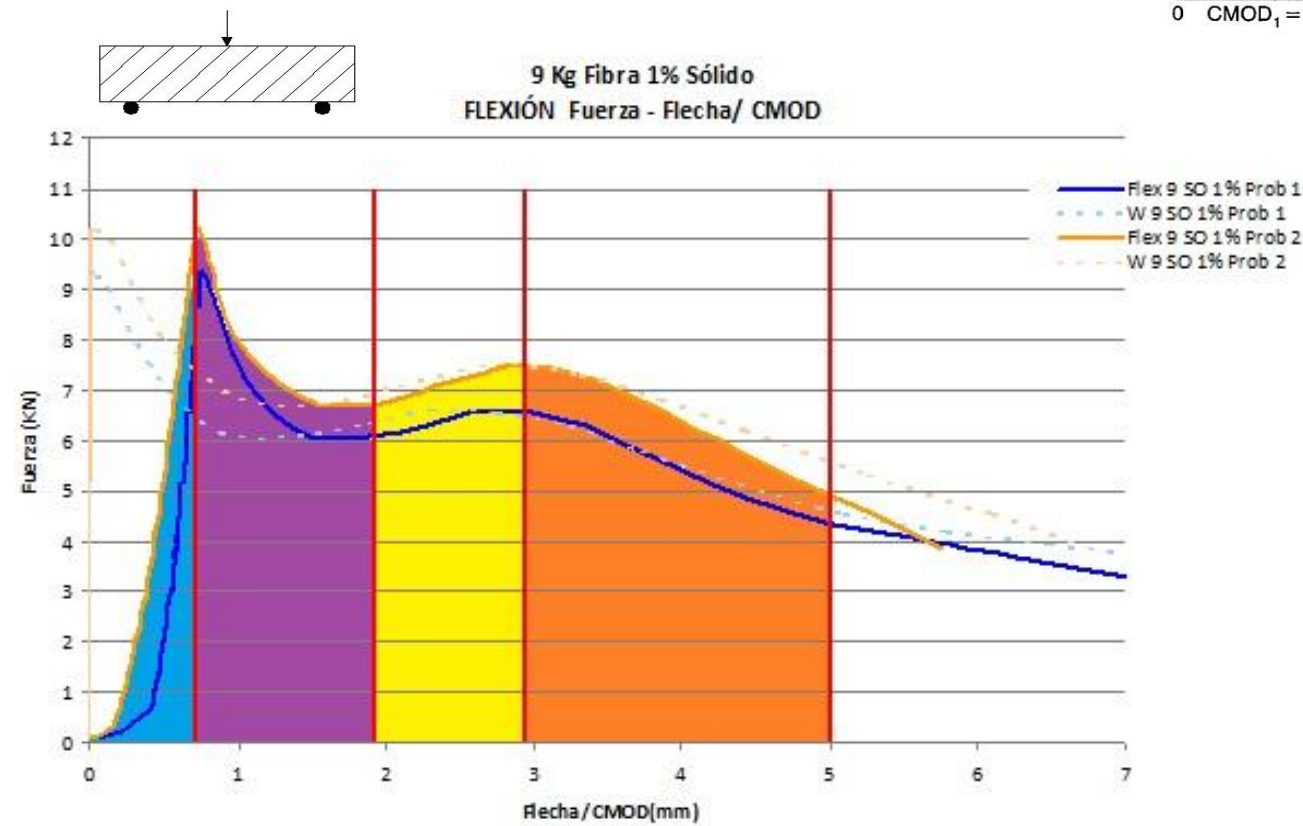
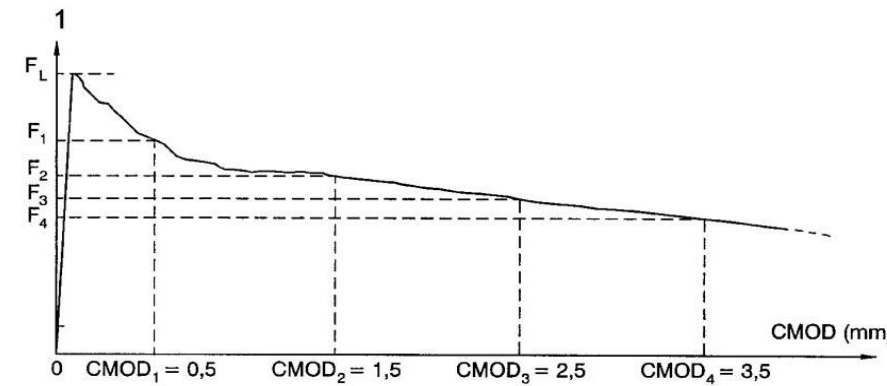
-Ambas probetas controlan muy bien la fisuración, aumentando notablemente la tenacidad del conjunto.

5.6.10 9 Kg Fibras 1% Sólido

Dosificación		
Material	Ud.	9 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	9
Promotor	Kg	3,25
Relación a/c		0,6

SÓLIDO	9 Kg 1%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	44,947	45,413
fc cubica (MPa)	45,27	46,3
E <sub>C</sub> (MPa)	30639	30146
fc, flex (MPa)	5,191	5,663
fc, flex Matriz (MPa)	5,19	5,66
fc, CMOD 0,05 (MPa)	5,16	5,66
fc, flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,03	4,47
fc, flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	3,37	3,73
fc, flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,63	4,096
fc, flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,22	4,05
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	35837	22531

9 Kg Fibra T 60	1% SO	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	6.619	6.832
Ablandamiento (N-mm)	10.186	11.779
Endurecimiento (N-mm)	4.561	7.149
Post Rotura (N-mm)	2.366	20.934
Tenacidad Total flexión (N-mm)	23.734	46.696
Tenacidad a compresión (N-mm)	465.662	484.819



-El comportamiento del conjunto no es el esperado, la fase de endurecimiento es baja respecto a la cantidad de fibras contenidas, esto es debido a una mala distribución de las fibras en ambas probetas, o la existencia de coqueas en la parte central de la probeta.

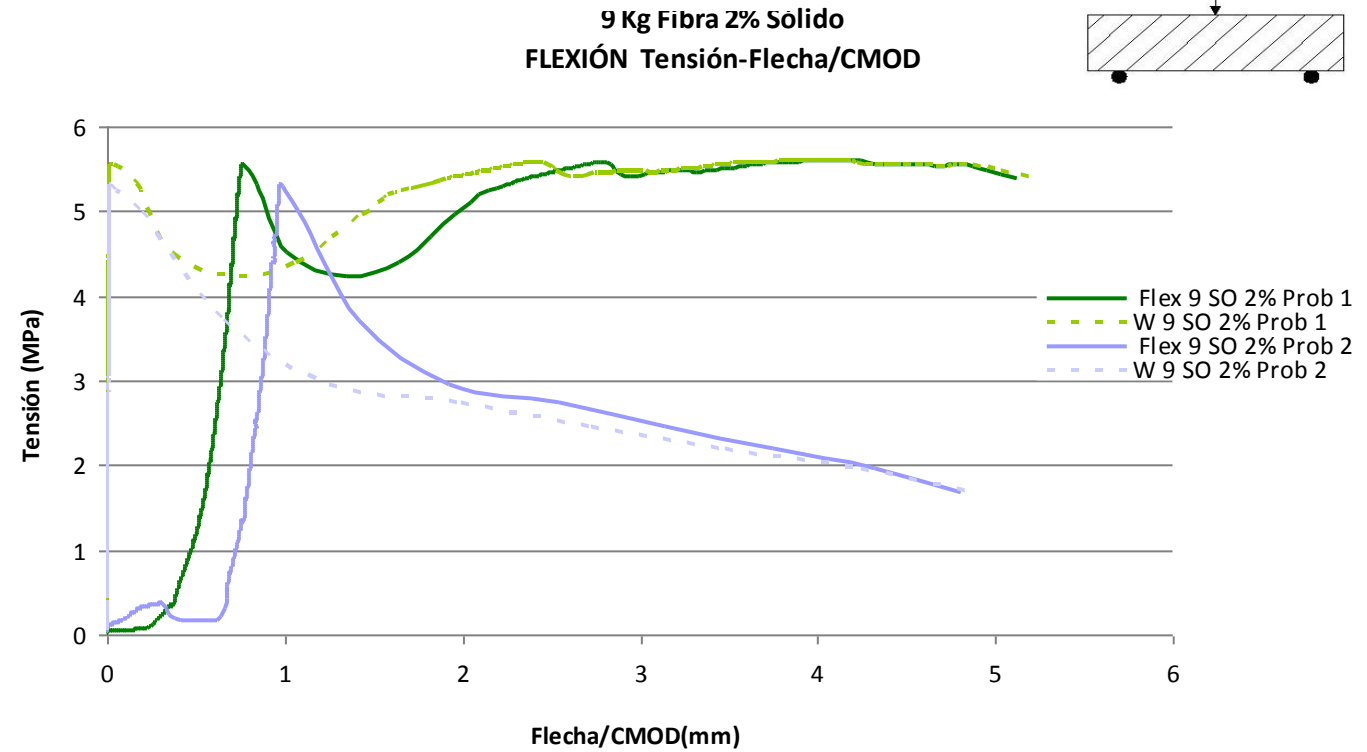
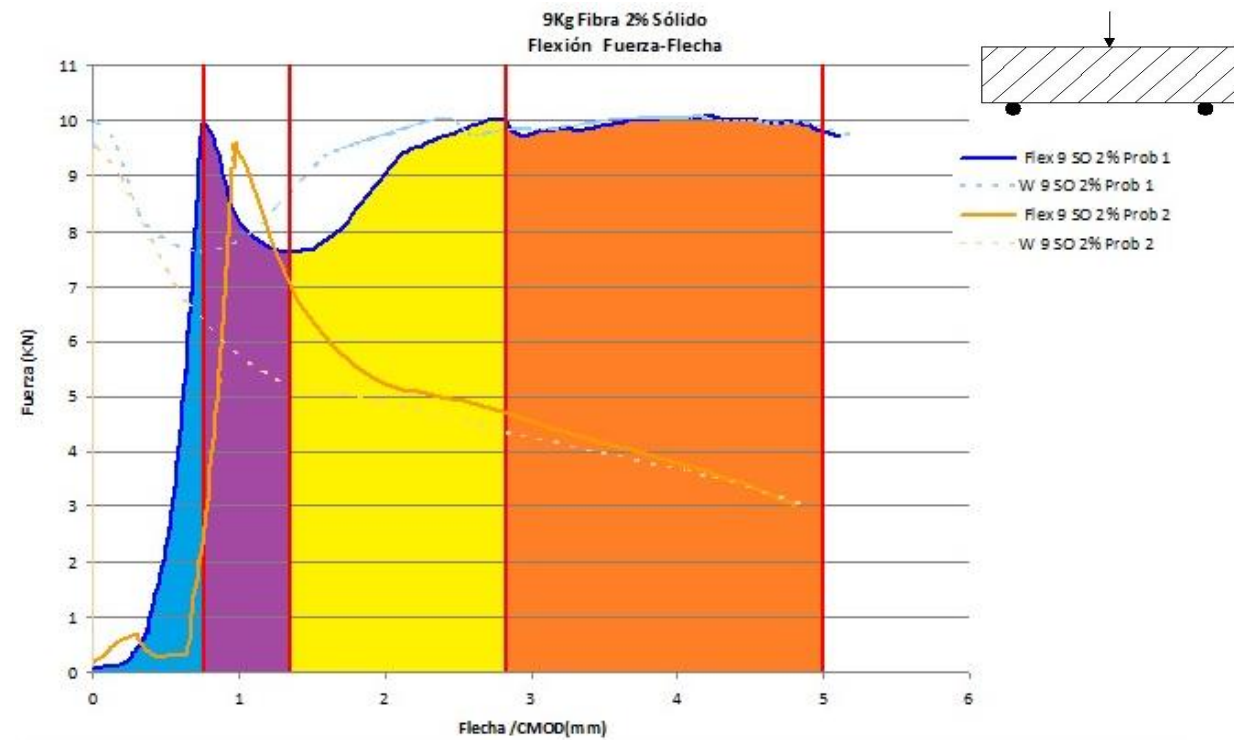
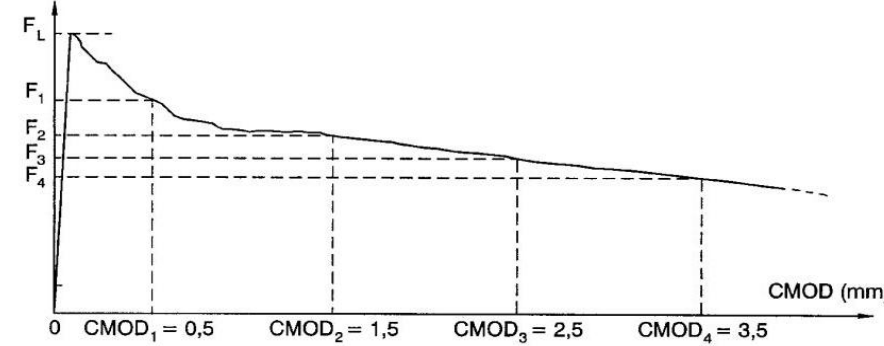


**5.6.11 9 Kg Fibras 2% Sólido**

Dosificación		
Material	Ud.	9 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	9
Promotor	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

SÓLIDO	9 Kg 2%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	49,458	47,57
fc cubica (MPa)	45,81	46,5
E <sub>c</sub> (MPa)	31576	31102
fc,flex (MPa)	5,599	5,323
fc,flex Matriz (MPa)	5,56	5,32
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,54	5,29
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,22	3,71
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	5,1	2,95
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	5,43	2,45
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	5,56	2,2
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	36659	36417

9 Kg Fibra T 60	2% SO	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N·mm)	4.623	5.969
Ablandamiento (N·mm)	4.965	26.153
Endurecimiento (N/mm)	13.341	0
Post Rotura (N·mm)	41.039	0
Tenacidad Total flexión (N·mm)	63.970	32.123
Tenacidad a compresión (N·mm)	486.614	515.120



-La diferencia de comportamiento tras la rotura de la matriz es debida a que en la probeta 2 la distribución de fibras no es correcta como se puede apreciar en la foto, en la probeta 1 se aprecia gran cantidad de fibras en la zona central de la sección.

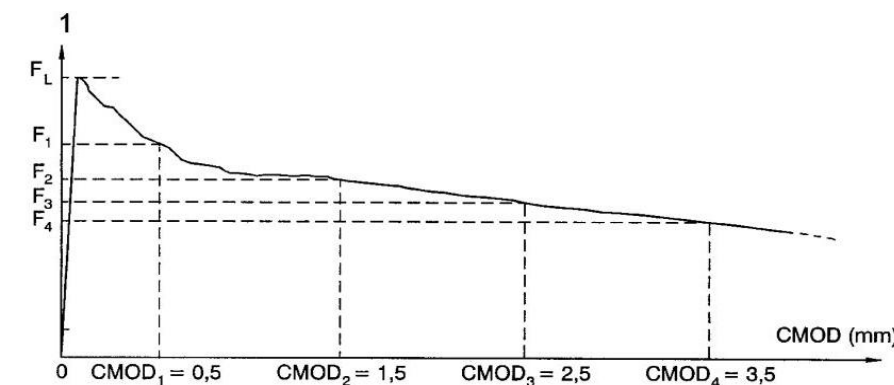
La probeta 1 mantiene un buen comportamiento de control de fisuración, siendo ésta equivalente con la flecha.

**5.6.12 9 kg Fibras análisis todas**

Dosificación		
Material	Ud.	9 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	9
Promotor 1%	Kg	3,25
Promotor 2%	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

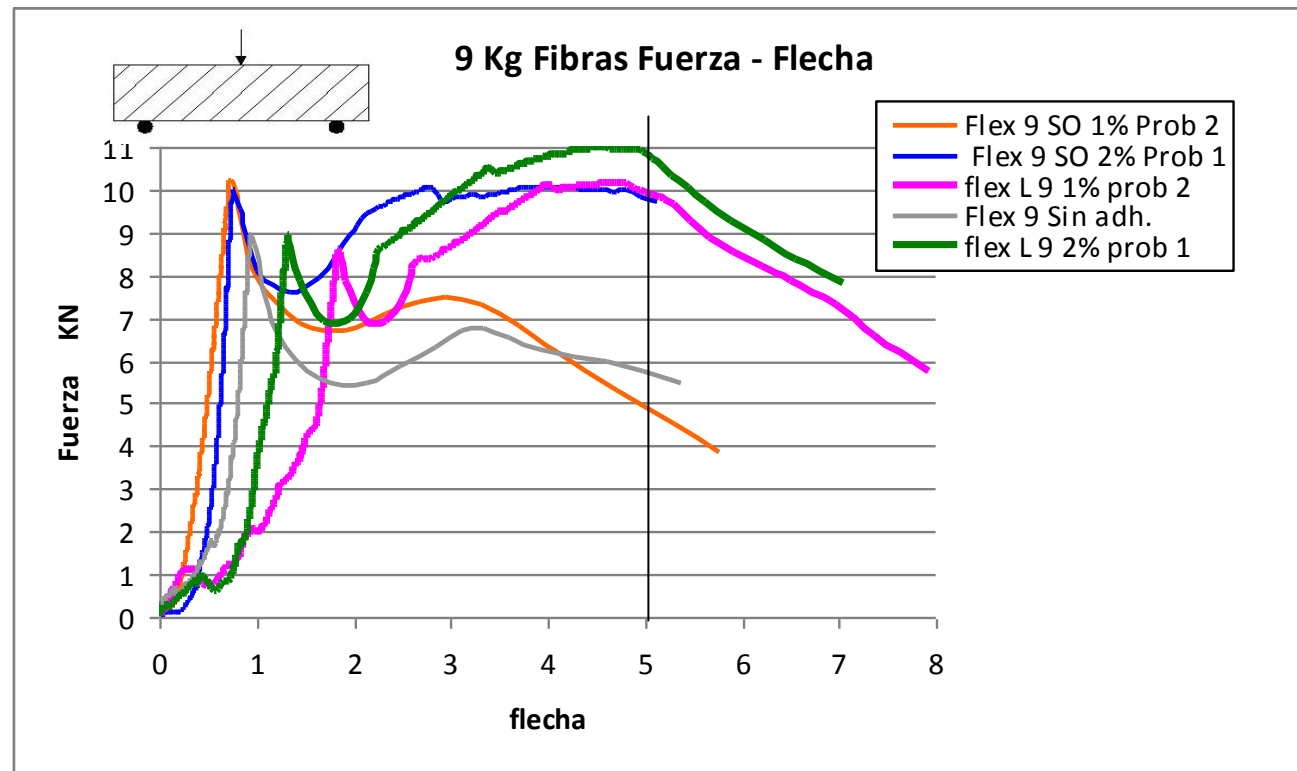
9 Kg Fibras Polimerica T60	Sin adh 9 Kg		9 Kg 1% LIQUIDO		9 Kg 2% LIQUIDO		9 Kg 1% SÓLIDO		9 Kg 2% SÓLIDO	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	38,26	37,39	40,17	38,92	40,36	44,59	44,947	45,413	49,458	47,57
fc cubica (MPa)	42,24	41,67	36,66	42,42	38,74	38,36	45,27	46,3	45,81	46,5
E <sub>C</sub> (MPa)	29606	28972	30446,39	29722,58	29221,55	29884,35	30639	30146	31576	31102
fc,flex (MPa)	5,05	4,95	4,08	5,64	6,07	5,65	5,191	5,663	5,599	5,323
fc,flex Matriz (MPa)	5,05	4,95	4,08	4,75	4,91	4,78	5,19	5,66	5,56	5,32
fc,CMOD0,05 (MPa)	5,01	4,95	*	4,75	4,91	4,76	5,16	5,66	5,54	5,29
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,00	3,71	*	3,85	3,84	3,85	4,03	4,47	4,22	3,71
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	3,49	3,03	*	4,93	4,96	4,93	3,37	3,73	5,1	2,95
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,91	3,71	*	5,62	5,70	5,62	3,63	4,096	5,43	2,45
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,32	3,46	*	5,52	5,98	5,52	3,22	4,05	5,56	2,2
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	25627	28944,12	26592,59	17272,72	17346,15	13562,50	35837	22531	36659	36417

9 Kg Fibra T 60	SIN ADHERENTE		1% LIQ		2% LIQ		1% SO		2% SO	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	5.421	4.685	2.989	6.786	6.030	6.207	6.619	6.832	4.623	5.969
Ablandamiento (N-mm)	9.223	8.986	12.615	4.098	4.874	4.676	10.186	11.779	4.965	26.153
Endurecimiento (N-mm)	7.072	7.330	6.169	21.726	29.755	2.206	4.561	7.149	13.341	0
Post Rotura (N-mm)	8.939	12.828	12.666	3.427	1.573	3.093	2.366	20.934	41.039	0
Tenacidad Total flexión (N-mm)	30.656	33.832	34.441	36.038	42.234	36.038	23.734	46.696	63.970	32.123
Tenacidad a compresión (N-mm)	438.770	275.341	663.330	464.456	256.897	685.432	465.662	484.819	486.614	515.120



Para dicha comparación entre distintos tipos de promotores se selecciona una probeta por tipo de cantidad añadida, en este caso son:

- Sin adherente Probeta 2
- Líquido 1% Probeta 2
- Líquido 2% Probeta 1
- Sólido 1% Probeta 2
- Sólido 2% Probeta 1

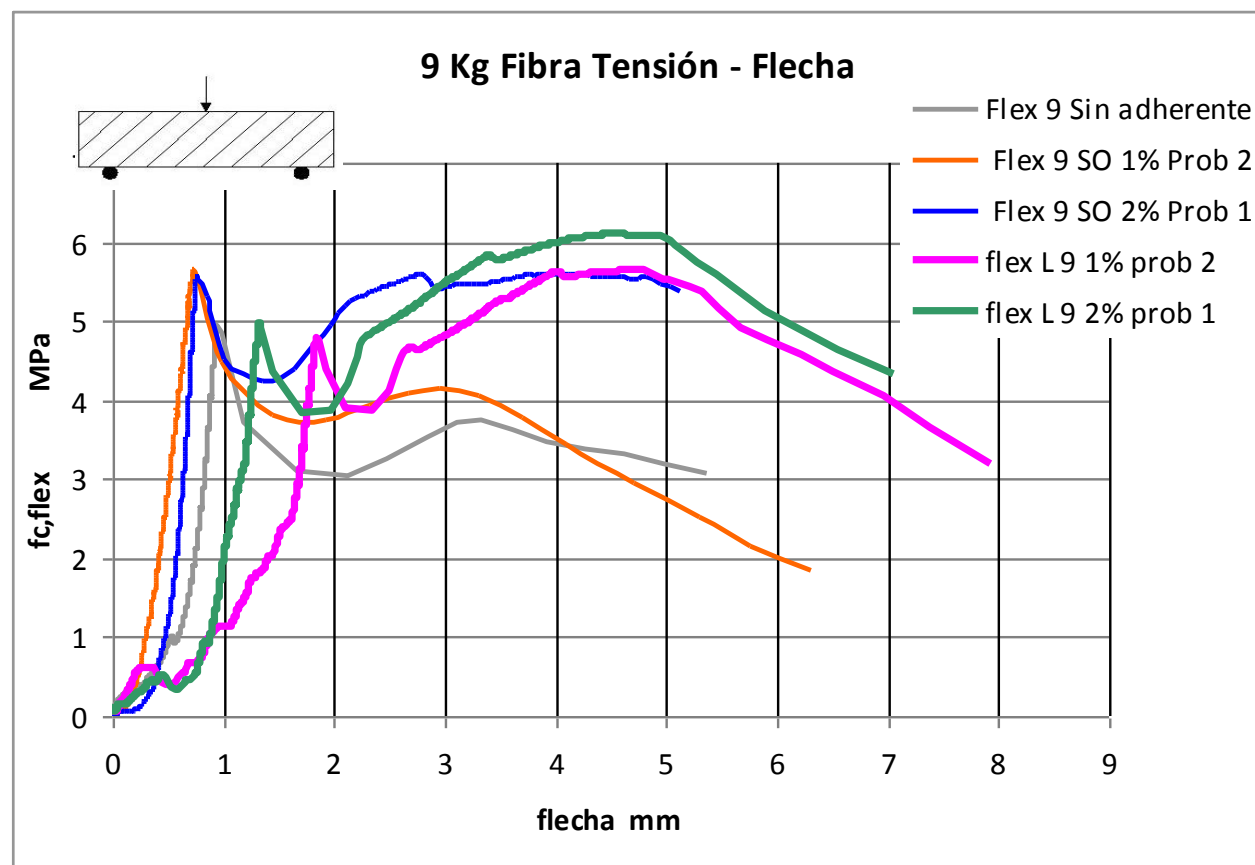


\* Las irregularidades iniciales en probetas Líquido 1% y 2% son debidas al ajuste de la máquina de ensayo cuando la maquina entra en carga.

- Podemos comprobar que la rotura de la matriz es similar para las amasadas sin adherente, 1% y 2% líquido, aumentando ésta para 1% y 2% sólido, puede ser debido a que el adherente sólido es polvo fino aumentando la adherencia en la matriz.

- En la fase de endurecimiento las probetas de 1%, 2% líquido y 2% sólido sufren un incremento aumentando su capacidad de rotura por encima de la capacidad de rotura de la matriz, a causa de la acumulación de fibras en esa zona de corte de la sección, manteniendo un buen control sobre la flecha-fisuración en la probeta.

- En este caso podemos concluir que el promotor adherente sólido incrementa la resistencia de la matriz, tanto el promotor líquido como el sólido aumenta la recuperación en fase de endurecimiento, tal y como se aprecia respecto a la probeta sin promotor adherente.



9 Fibras 1% líquido



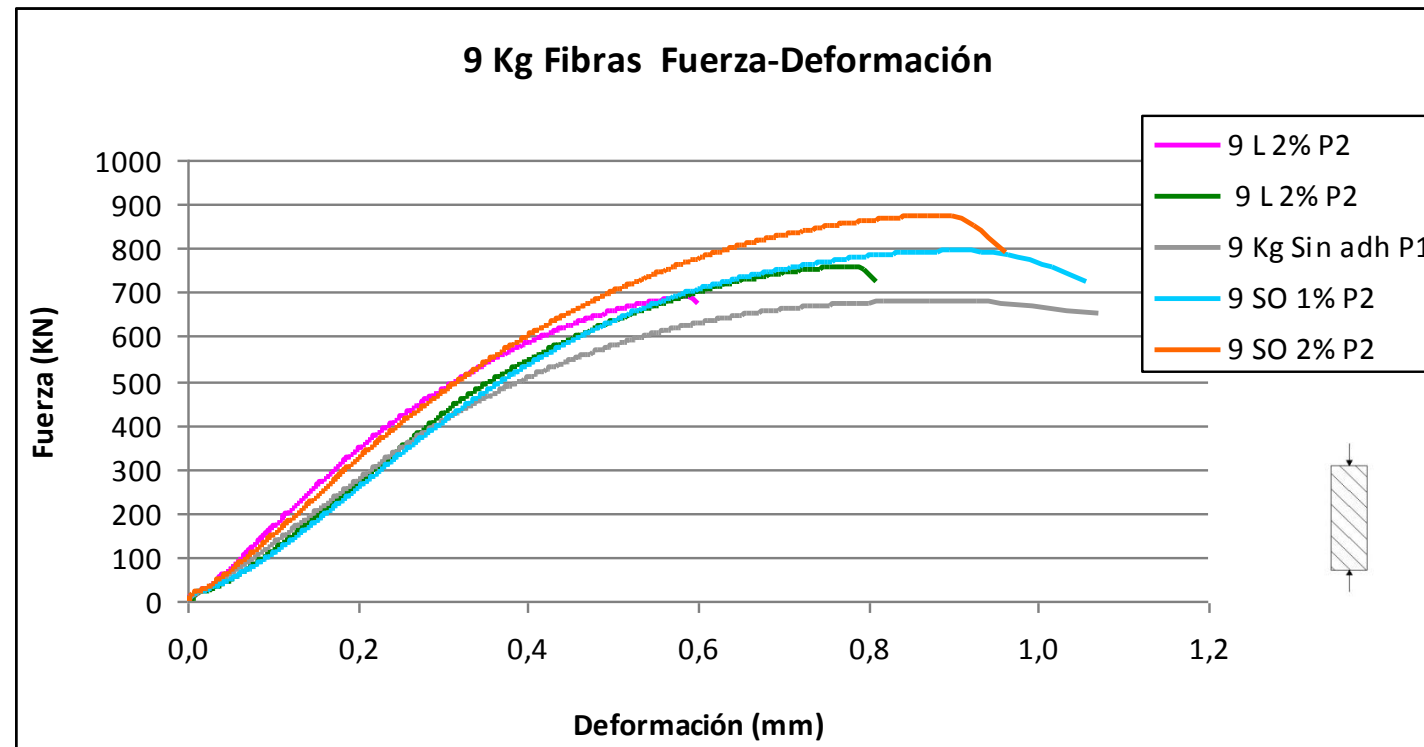
9 Fibras 2% líquido



9 Fibras 1% Sólido



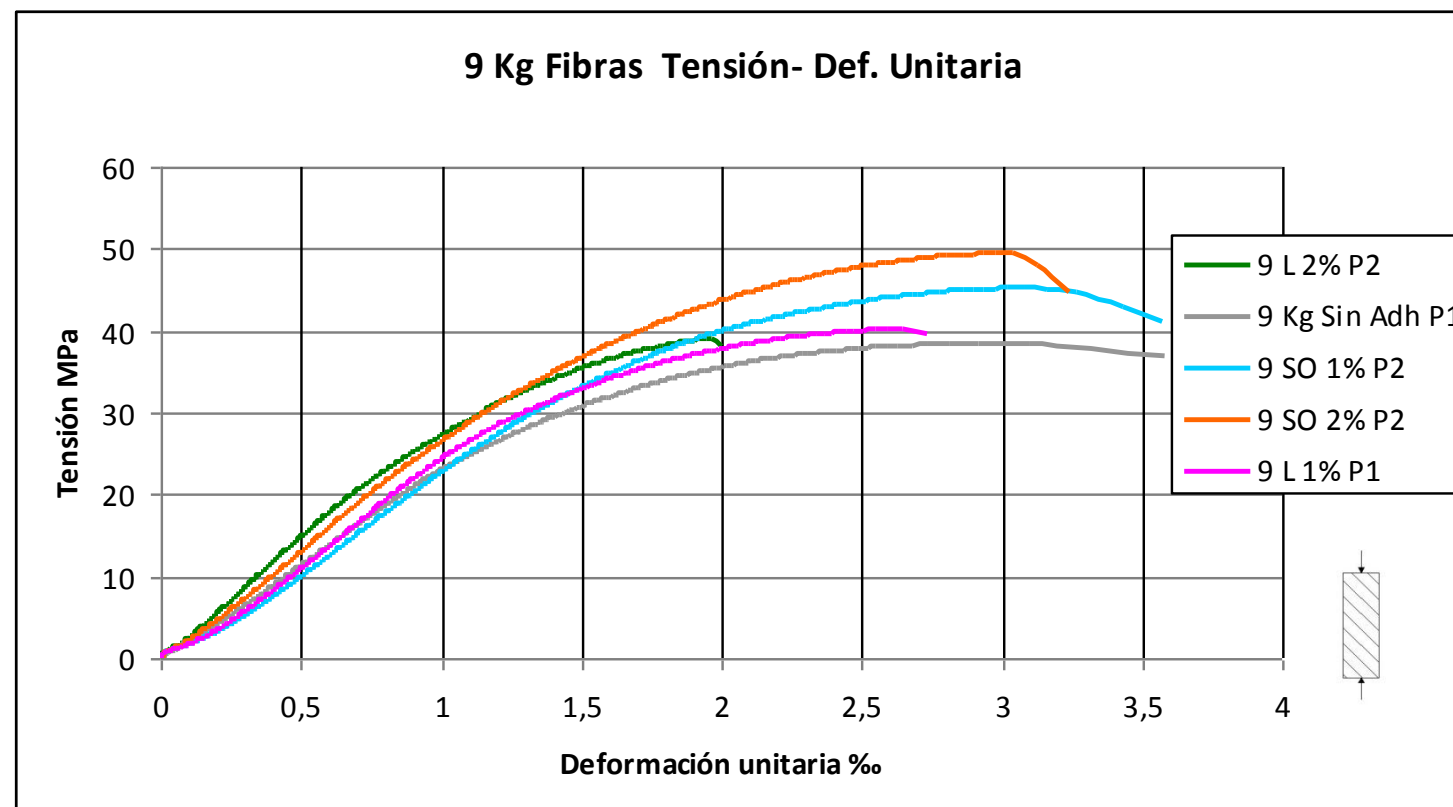
9 Fibras 2% Sólido



El resultado en los ensayos de compresión son similares para todas las masas siendo la masa de 9 kg sin adherente la de menor resistencia y mayor deformación.

Se puede observar como para una misma cantidad de fibras y distinto porcentajes de promotor adherente, la resistencia aumenta con el promotor de adherencia sólido respecto a la líquida, aumentando también la deformación.

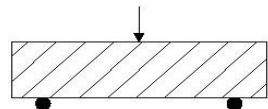
Aunque la resistencia a compresión no debería verse afectada significativamente por el contenido de fibras, podemos concluir que la adición de promotor adherente sólido y líquido mejora la resistencia a compresión ligeramente.



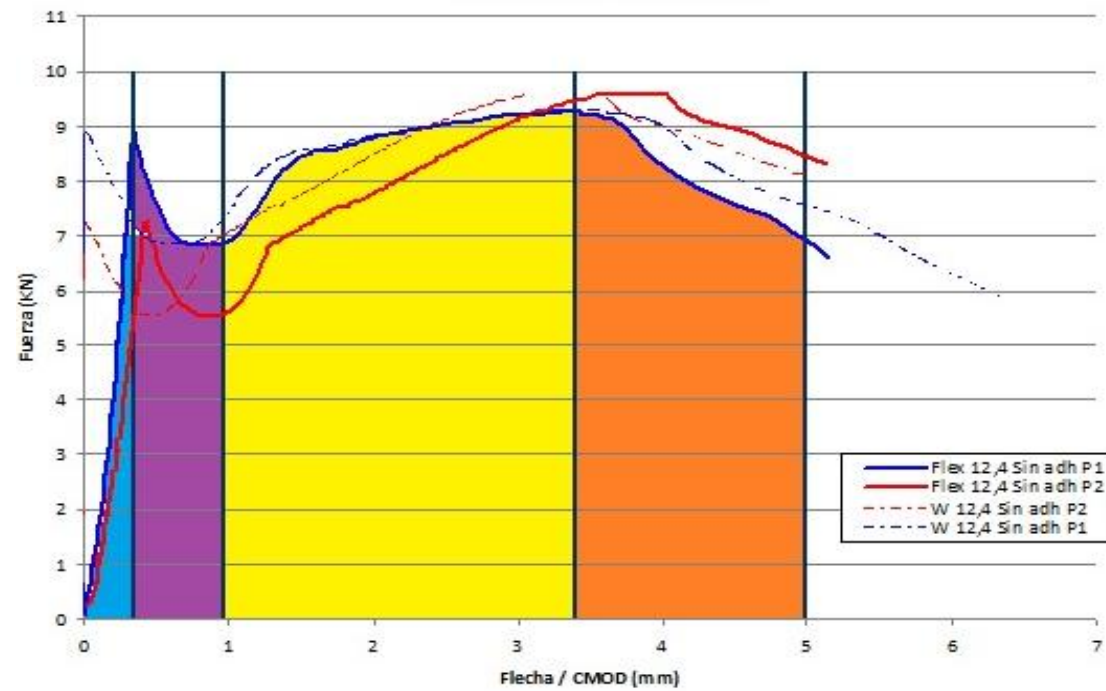
5.6.13 12,4 Kg Fibras Sin adherente

Dosificación		
Material	Ud.	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl.	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	12,4

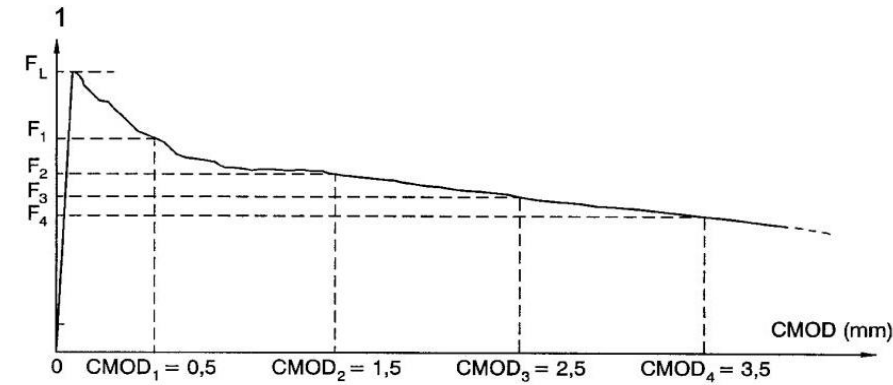
Sin adherente	Sin adh 12,4 Kg	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	35,89	37,94
fc cubica (MPa)	43,97	42,20
$E_c$ (MPa)	27365	28406
fc,flex (MPa)	5,15	5,31
fc,flex Matriz (MPa)	4,93	4,02
fc,CMOD 0,05 (MPa)	3,51	3,91
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,83	3,12
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	4,74	4,28
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	5,00	5,05
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	5,15	5,31
$E_{FLEX}$ (MPa)	35298,8	21399,86



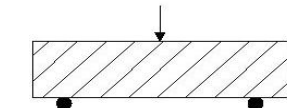
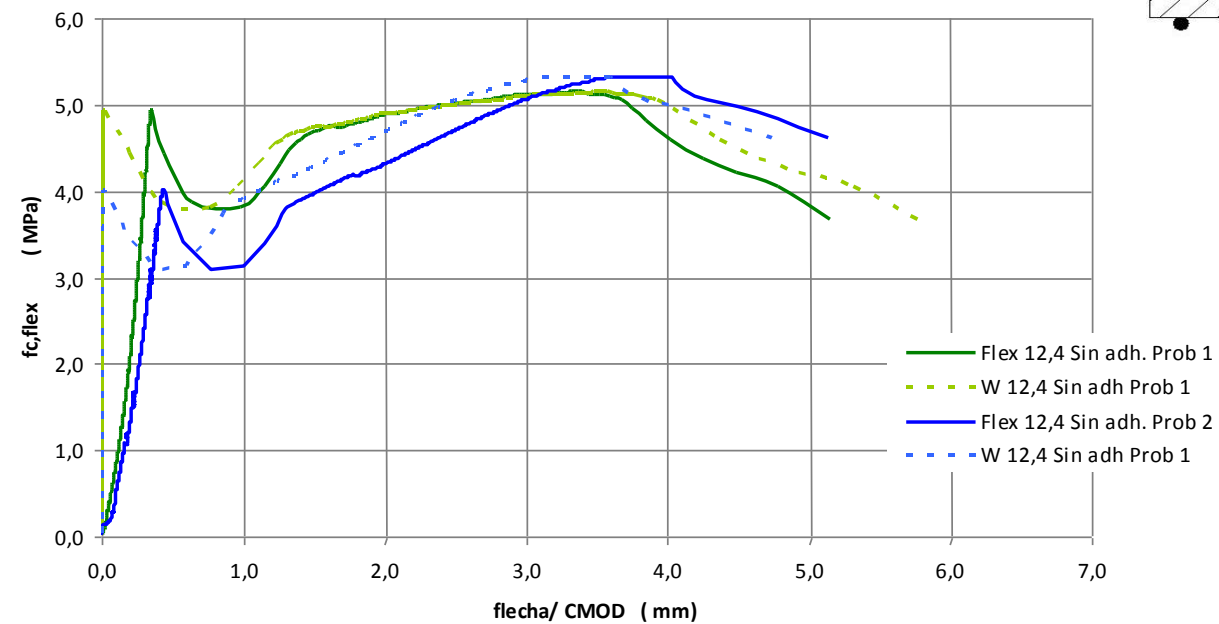
12,4 Kg Sin adherente  
FLEXIÓN Fuerza - Flecha CMOD



12,4 Kg Fibra T 60	SIN ADHERENTE	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	3.993	3.777
Ablandamiento (N-mm)	5.740	3.359
Endurecimiento (N/mm)	20.002	25.431
Post Rotura (N-mm)	16.594	11.424
Tenacidad Total flexión (N-mm)	46.331	43.994
Tenacidad a compresión (N-mm)	504.980	429.936



12,4 Kg Sin adherente  
FLEXIÓN Tensión - Flecha / CMOD



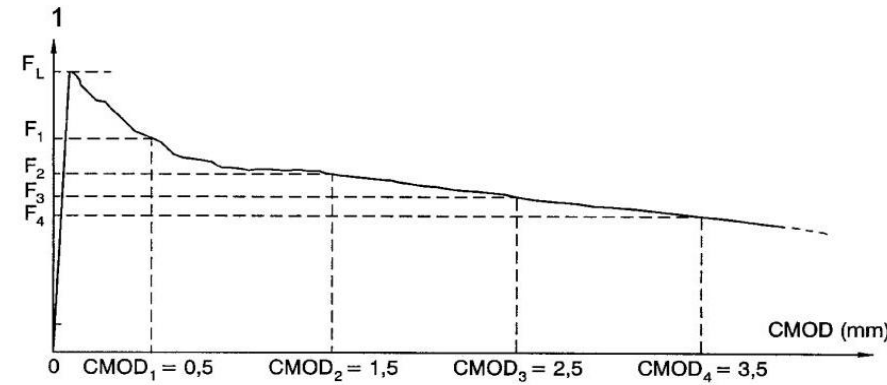
-Se puede observar la probeta 1 tiene una mayor resistencia de rotura en la matriz, ambas probetas tienen un buen comportamiento al control de fisura con una fase endurecimiento que va en aumento, con la consecuente mayor área de tenacidad debido a su homogeneidad en la distribución de fibras.

5.6.14 12,4 Kg Fibras 1% Líquido

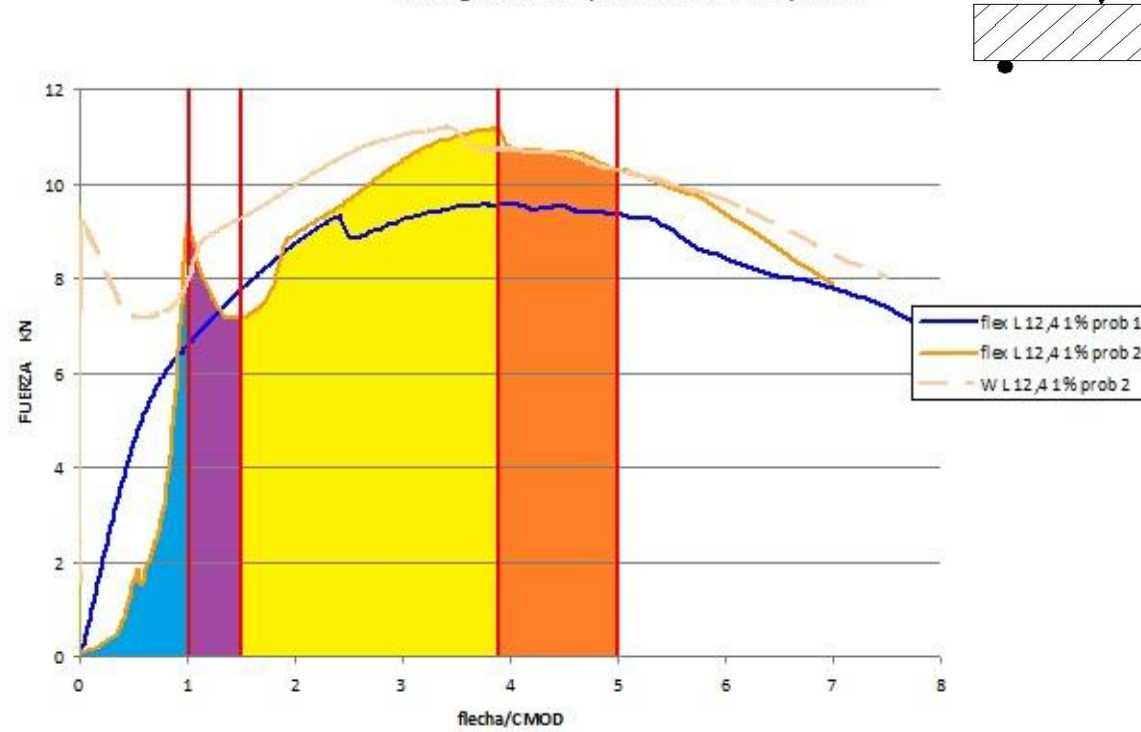
Dosificación		
Material	Ud.	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl.	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	12,4
Promotor	Kg	3,25
Relación a/c		0,6

LÍQUIDO	12,4 Kg 1%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	35,96	28,53
fc cubica (MPa)	37,29	39,93
E <sub>c</sub> (MPa)	28892,33	30998,97
fc,flex (MPa)	5,31	6,15
fc,flex Matriz (MPa)	5,12	5,18
fc,CMOD 0,05 (MPa)	*	5,06
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	*	3,99
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	*	5,13
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	*	5,89
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	*	6,17
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	2399,46	30333,33

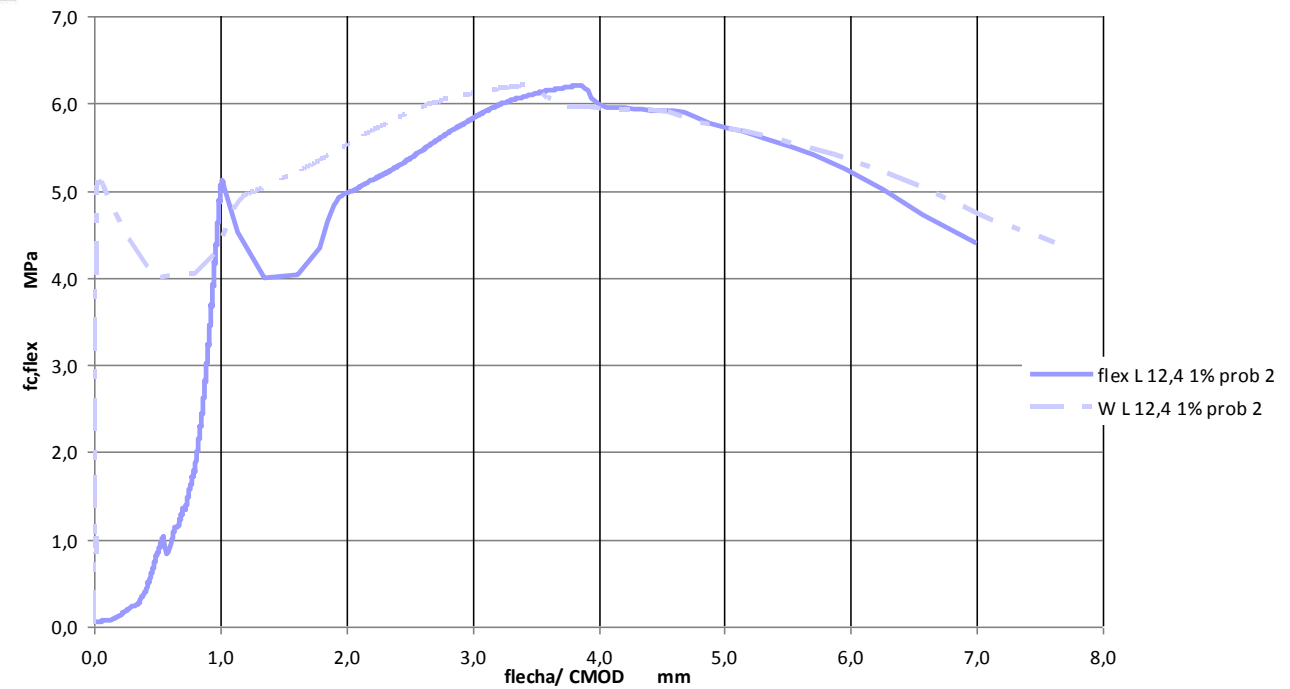
12,4 Kg Fibra T 60	1% LIQ	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	15.763	4.443
Ablandamiento (N-mm)	1.698	5.890
Endurecimiento (N-mm)	14.003	21.468
Post Rotura (N-mm)	9.292	13.050
Tenacidad Total flexión (N-mm)	40.757	44.852
Tenacidad a compresión (N-mm)	994.953	375.927



12,4 Kg Fibra 1% Líquido Fuerza - Flecha/CMOD



12,4 Kg Fibra 1% Líquido FLEXIÓN Tensión - Flecha/CMOD



\*El captador de abertura de fisura falló en el ensayo.

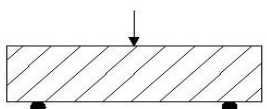
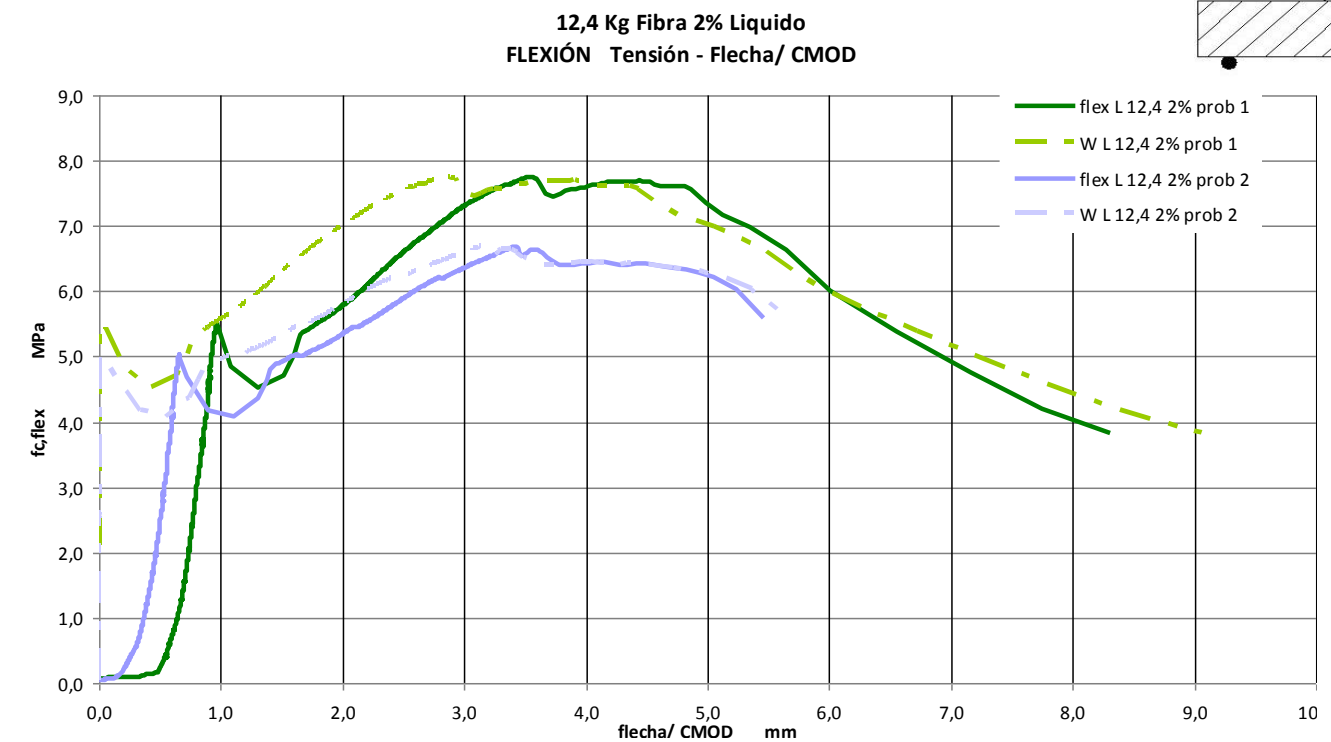
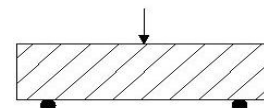
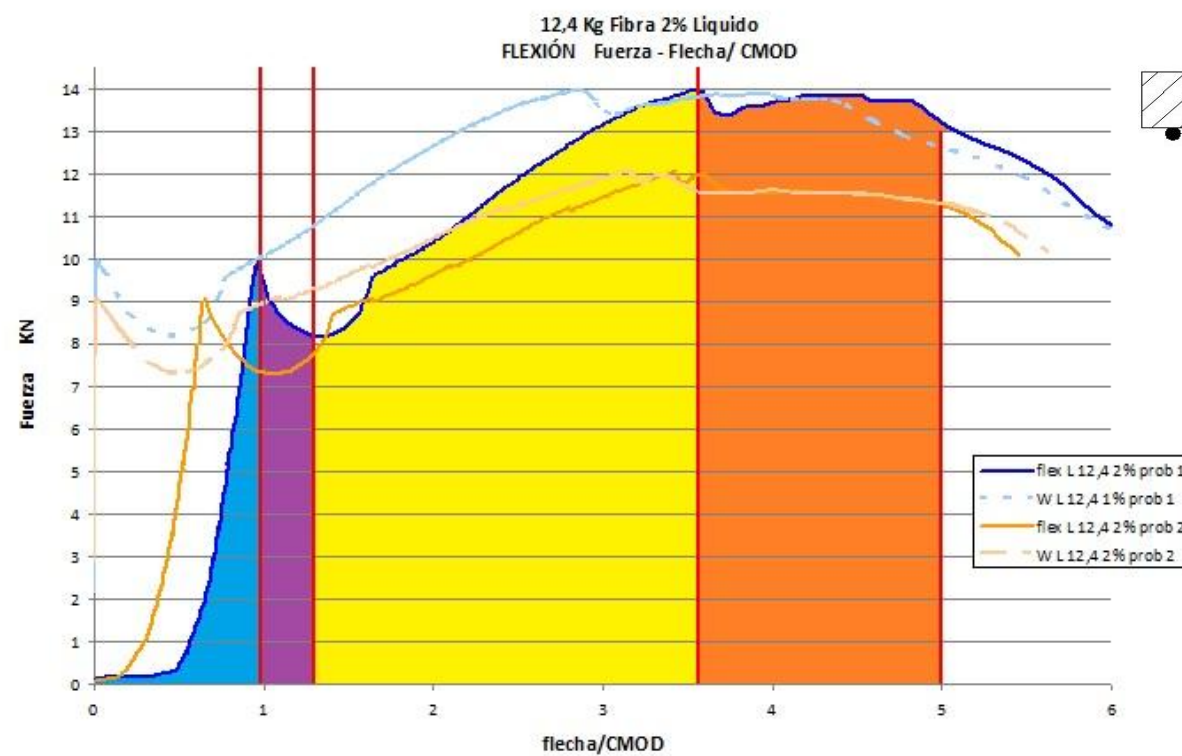
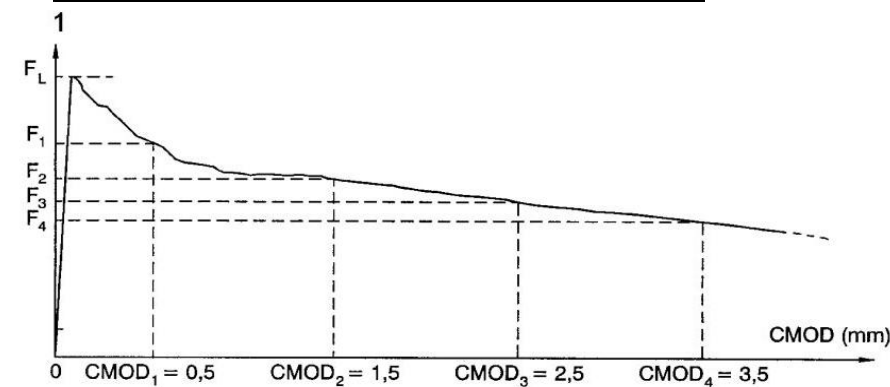
La probeta 2 tiene un buen comportamiento al control de la fisuración, puesto que aumenta la tensión por encima de la tensión máxima de la matriz en fase de endurecimiento mostrando así capacidad de recuperación.

### 5.6.15 12,4 Kg Fibras 2% Líquido

Dosificación		
Material	Ud.	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad.		
Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	12,4
Promotor	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

LÍQUIDO	12,4 Kg 2%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	38,41	37,64
fc cubica (MPa)	43,01	38,55
E <sub>c</sub> (MPa)	29281,28	30294,37
fc,flex (MPa)	7,64	6,69
fc,flex Matriz (MPa)	5,51	5,02
fc,CMOD 0,05 (MPa)	43,10	8,90
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	8,35	7,33
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	11,33	9,60
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	13,57	11,22
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	13,75	11,63
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	27472,22	27146,66

12,4 Kg Fibra T 60	2% LIQ	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	6.493	4.494
Ablandamiento (N-mm)	4.659	5.056
Endurecimiento (N-mm)	24.459	24.216
Post Rotura (N-mm)	23.892	5.565
Tenacidad Total flexión (N-mm)	59.504	39.333
Tenacidad a compresión (N-mm)	549.980	456.691



-La probeta 1 tiene un magnifico comportamiento puesto que aumenta la tensión en la fase de endurecimiento hasta casi un 50% más que la tensión máxima de la matriz, esto es debido a la homogeneidad en la distribución de las fibras como se puede observar en la foto.

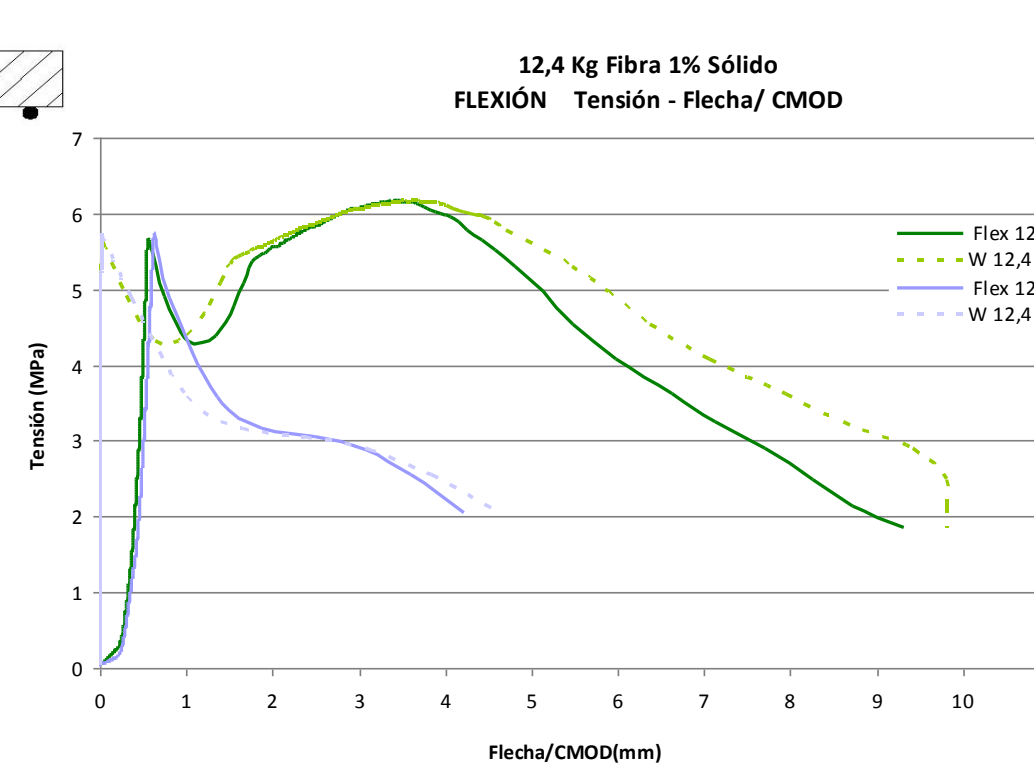
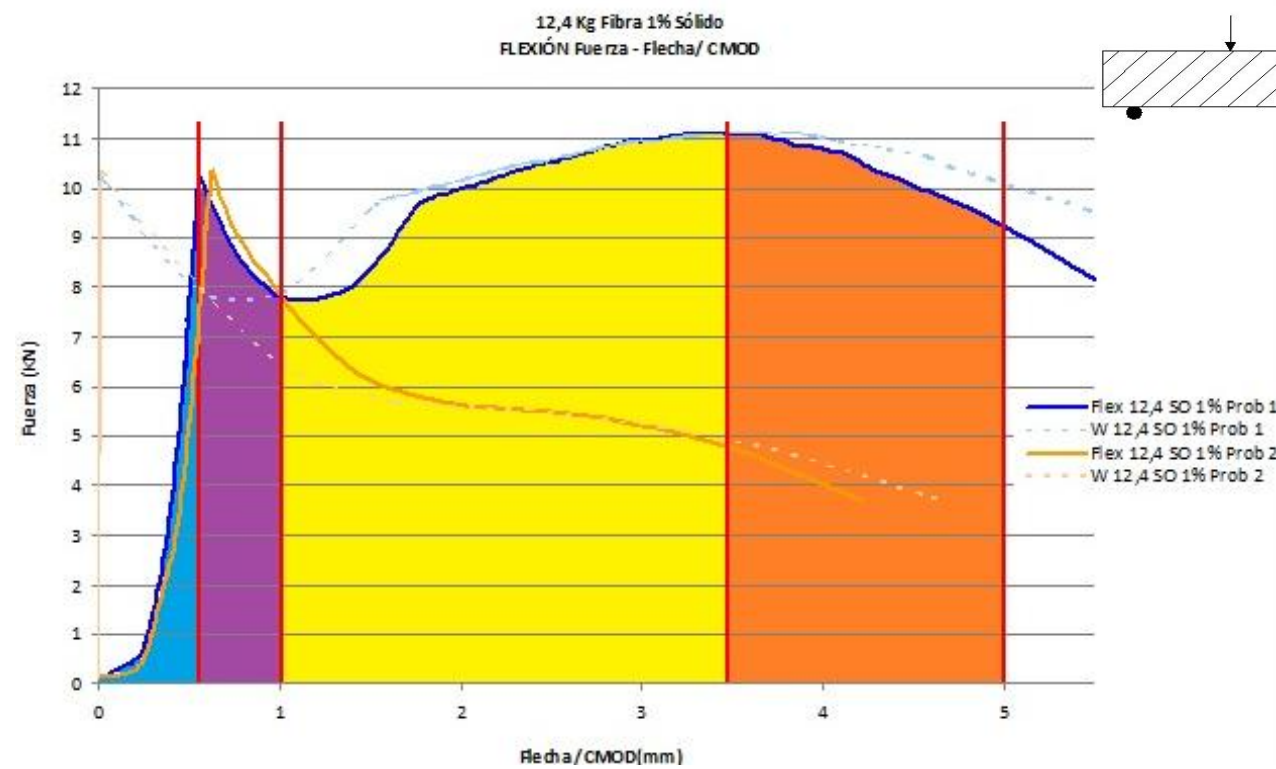
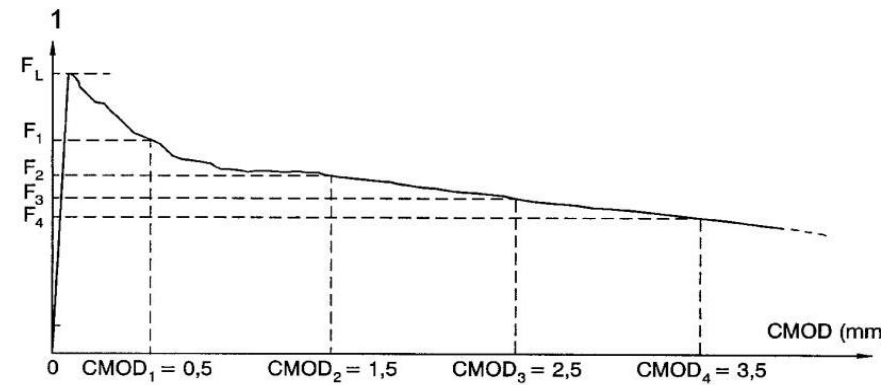
-El control de la fisuración es equivalente a la flecha en ambas probetas

5.6.16 12,4 Kg Fibras 1% Sólido

Dosificación		
Material	Ud.	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl.	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	12,4
Promotor	Kg	3,25
Relación a/c		0,6

SÓLIDO	12,4 Kg 1%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	53,008	52,29
fc cubica (MPa)	51,66	46,79
E <sub>C</sub> (MPa)	34030	33731
fc,flex (MPa)	6,165	5,731
fc,flex Matriz (MPa)	5,65	5,73
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,59	5,72
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,32	4,88
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	5,36	3,15
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	5,86	3,05
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	6,16	2,55
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	46434	39203

12,4 Kg Fibra T 60	1% SO	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	5.556	5.898
Ablandamiento (N-mm)	6.534	28.462
Endurecimiento (N-mm)	22.010	0
Post Rotura (N-mm)	19.734	0
Tenacidad Total flexión (N-mm)	53.835	34.360
Tenacidad a compresión (N-mm)	499.996	537.718



-El comportamiento del conjunto en la probeta 2 no es el esperado, la fase de endurecimiento es baja respecto a la cantidad de fibras (12,4kg) , esto es debido a una mala distribución de las fibras , o la existencia de coqueas en la zona media.

La probeta 1 tiene un buen control de la fisuración dado que su tenacidad es aumentada considerablemente en la fase de endurecimiento.

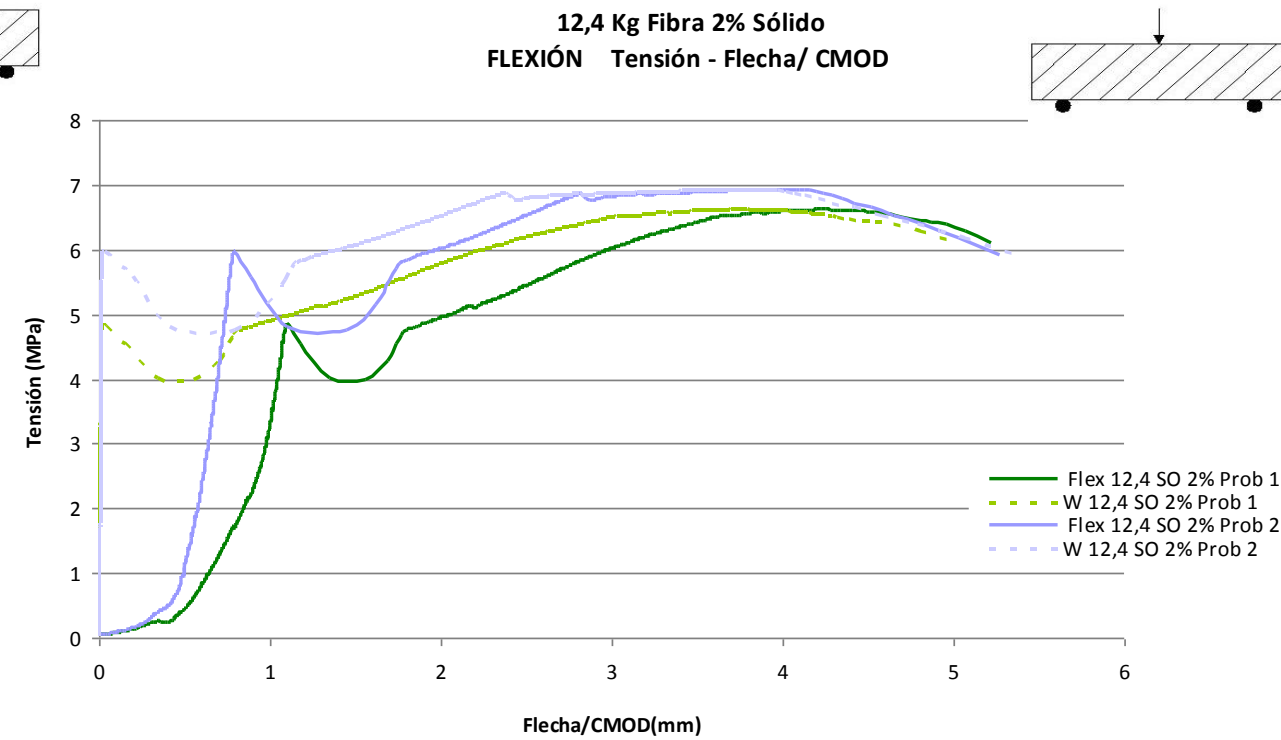
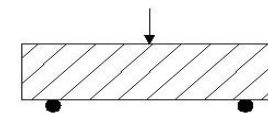
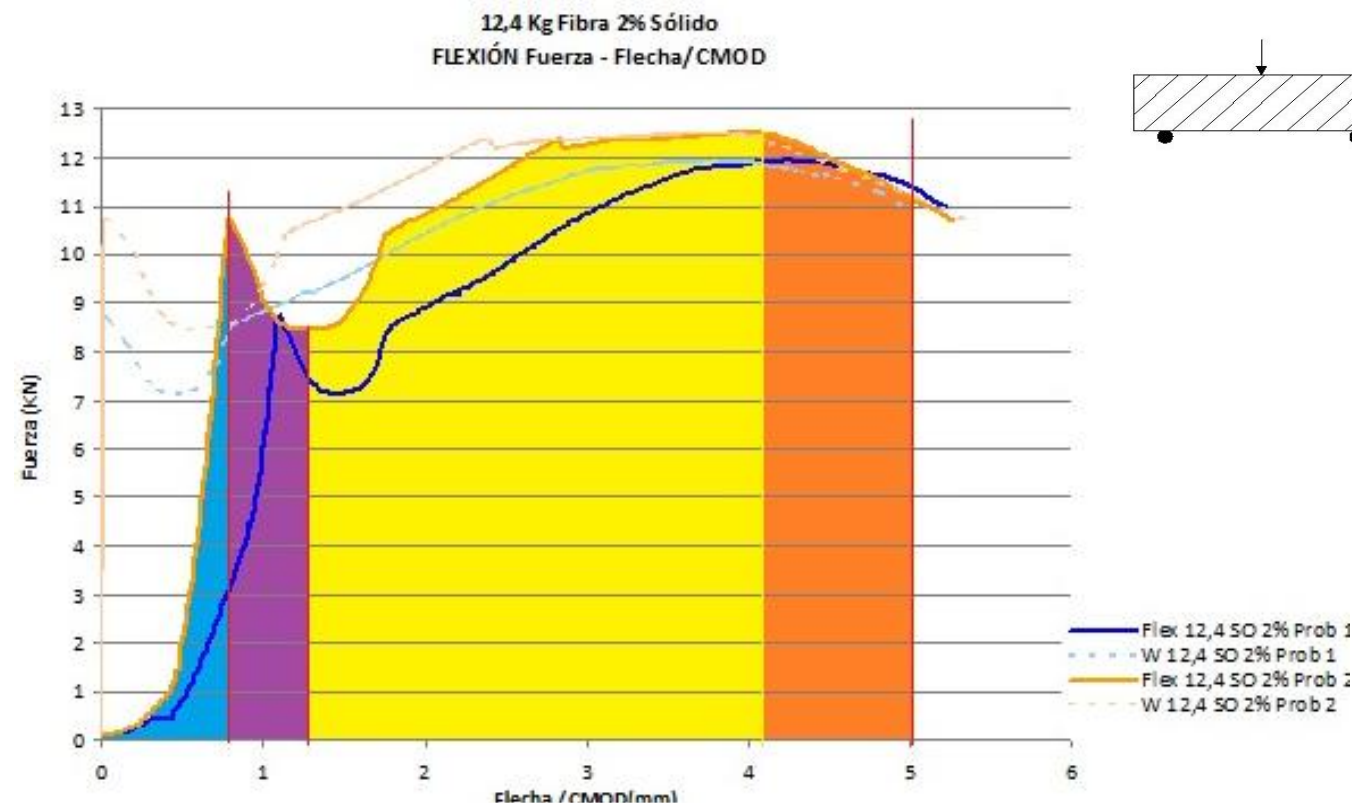
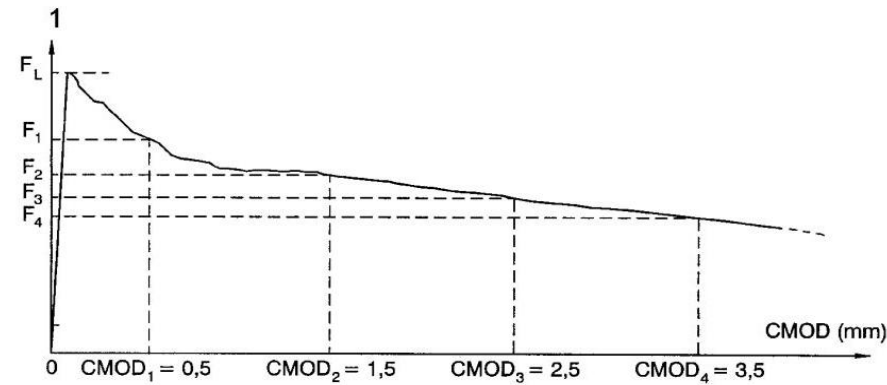


5.6.17 12,4 Kg Fibras 2% Sólido

Dosificación		
Material	Ud.	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	12,4
Promotor	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

SÓLIDO	12,4 Kg 2%	
	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	49,366	47,967
fc cubica (MPa)	48,95	45,265
E <sub>c</sub> (MPa)	31492	33947
fc,flex (MPa)	6,619	6,929
fc,flex Matriz (MPa)	4,84	5,96
fc,CMOD 0,05 (MPa)	4,8	5,96
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4	4,79
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	5,27	6,07
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	6,19	6,78
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	6,59	6,91
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	23595	35703

12,4 Kg Fibra T 60	2% SO	
ENERGÍA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N·mm)	4.517	6.195
Ablandamiento (N·mm)	4.465	7.470
Endurecimiento (N/mm)	27.295	28.648
Post Rotura (N·mm)	13.392	18.144
Tenacidad Total flexión (N·mm)	49.671	60.459
Tenacidad a compresión (N·mm)	179.056	192.799



-Ambas probetas tienen un comportamiento similar aumentando la tensión en la fase de endurecimiento por encima de la tensión de rotura de la matriz. La probeta 2 ofrece mejores resultados debido a la homogeneidad de la distribución de fibras en la sección.

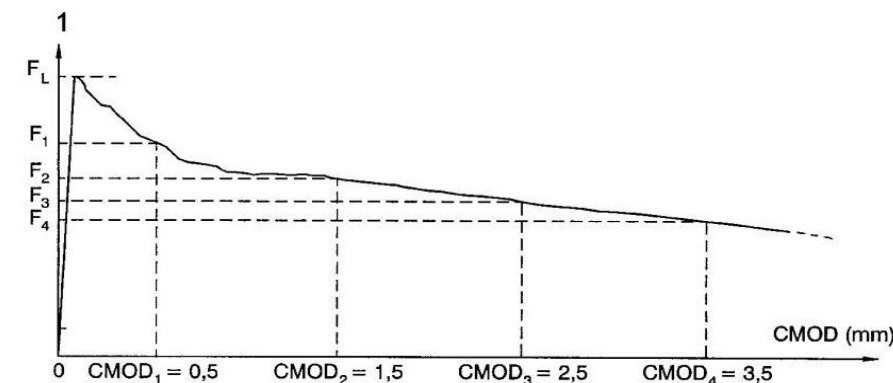
-Tienen un buen control sobre la fisuración, la cual es equivalente a la flecha.

5.6.18 12,4 Kg Fibras análisis todas

Dosificación		
Material	Ud.	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	12,4
Promotor 1%	Kg	3,25
Promotor 2%	Kg	6,5
Relación a/c		0,6

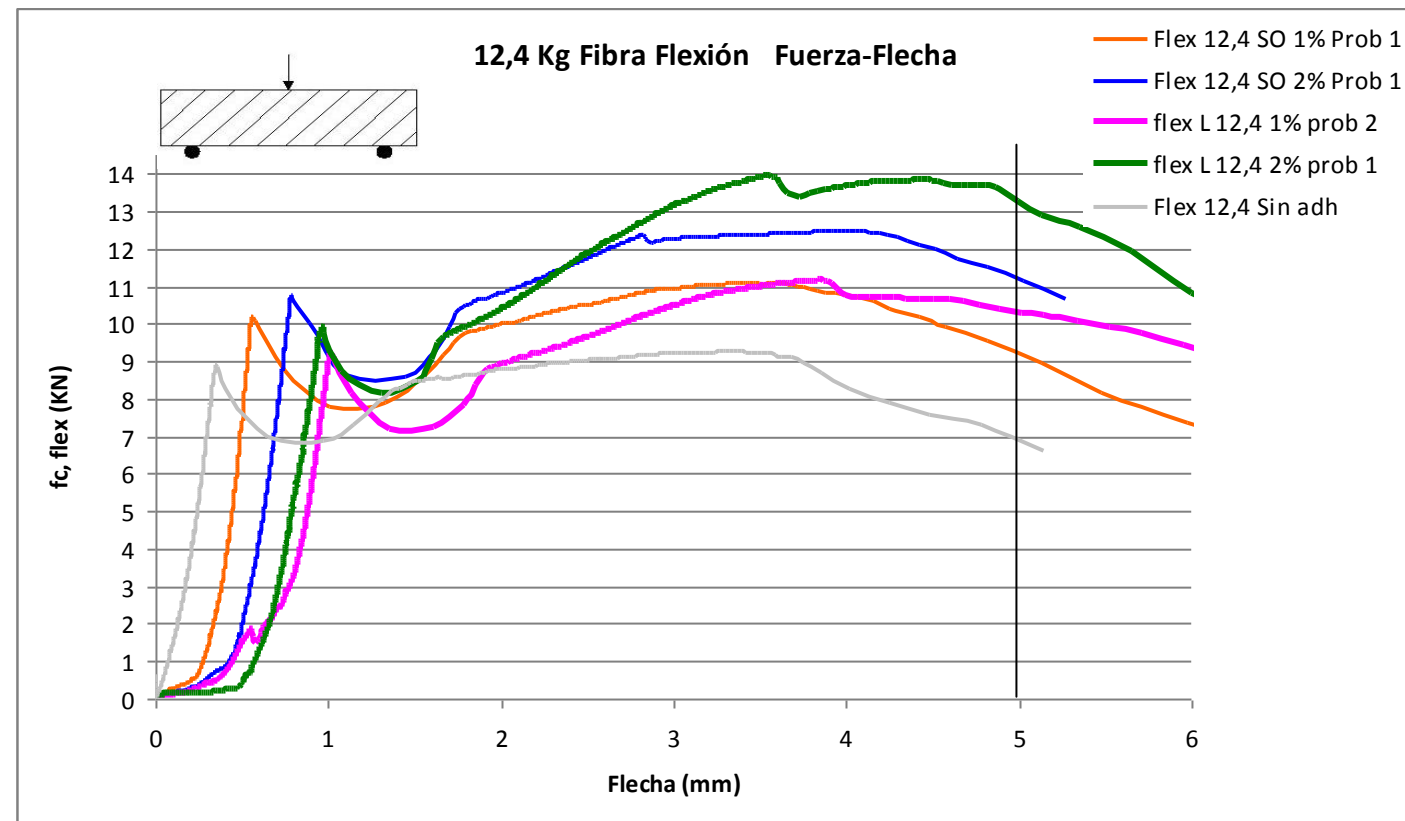
12,4 Kg Fibras Polimerica T60	Sin Adherente		LIQUIDO				SÓLIDO			
	Sin adh 12,4 Kg		12,4 Kg 1%		12,4 Kg 2%		12,4 Kg 1%		12,4 Kg 2%	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	35,89	37,94	35,96	28,53	38,41	37,64	53,008	52,29	49,366	47,967
fc cubica (MPa)	43,97	42,20	37,29	39,93	43,01	38,55	51,66	46,79	48,95	45,265
E <sub>c</sub> (MPa)	27365	28406	28892,33	30998,97	29281,28	30294,37	34030	33731	31492	33947
fc,flex (MPa)	5,15	5,31	5,31	6,15	7,64	6,69	6,165	5,731	6,619	6,929
fc,flex Matriz (MPa)	4,93	4,02	5,12	5,18	5,51	5,02	5,65	5,73	4,84	5,96
fc,CMOD 0,05 (MPa)	3,51	3,91	*	5,06	43,10	8,90	5,59	5,72	4,8	5,96
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,83	3,12	*	3,99	8,35	7,33	4,32	4,88	4	4,79
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	4,74	4,28	*	5,13	11,33	9,60	5,36	3,15	5,27	6,07
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	5,00	5,05	*	5,89	13,57	11,22	5,86	3,05	6,19	6,78
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	5,15	5,31	*	6,17	13,75	11,63	6,16	2,55	6,59	6,91
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	35298,8	21399,86	2399,46	30333,33	27472,22	27146,66	46434	39203	23595	35703

12,4 Kg Fibra T 60	SIN ADHERENTE		1% LIQ		2% LIQ		1% SO		2% SO	
ENERGÍA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N·mm)	3.993	3.777	15.763	4.443	6.493	4.494	5.556	5.898	4.517	6.195
Ablandamiento (N·mm)	5.740	3.359	1.698	5.890	4.659	5.056	6.534	28.462	4.465	7.470
Endurecimiento (N·mm)	20.002	25.431	14.003	21.468	24.459	24.216	22.010	0	27.295	28.648
Post Rotura (N·mm)	16.594	11.424	9.292	13.050	23.892	5.565	19.734	0	13.392	18.144
Tenacidad Total flexión (N·mm)	46.331	43.994	40.757	44.852	59.504	39.333	53.835	34.360	49.671	60.459
Tenacidad a compresión (N·mm)	504.980	429.936	994.953	375.927	549.980	456.691	499.996	537.718	478.056	432.788



Para dicha comparación entre distintos tipos de promotores se selecciona una probeta por tipo de cantidad añadida, en este caso son:

- Sin adherente Probeta 1
- Líquido 1% Probeta 2
- Líquido 2% Probeta 1
- Sólido 1% Probeta 1
- Sólido 2% Probeta 1

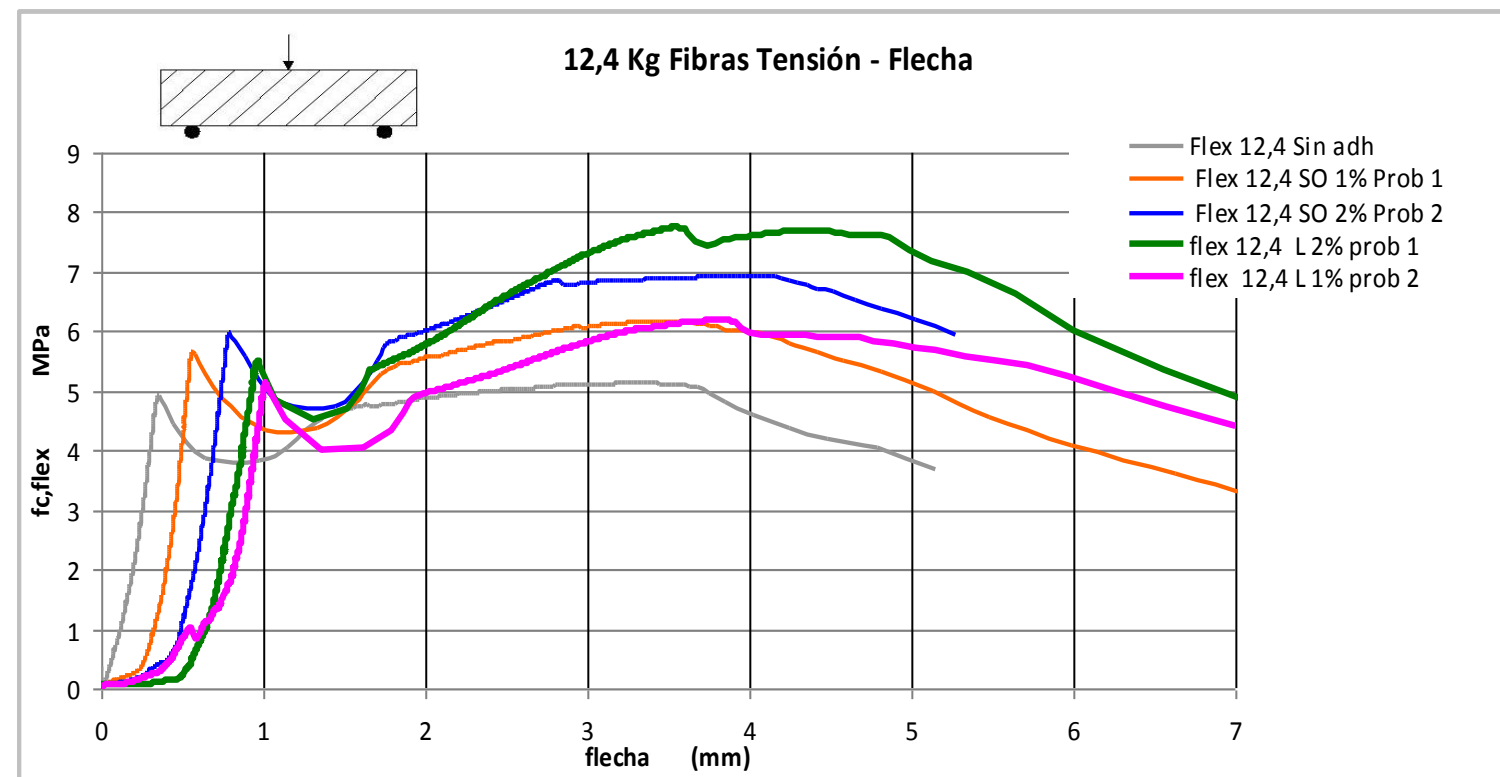


\* Las irregularidades iniciales en probetas Liquido 1% y 2% son debidas al ajuste de la máquina de ensayo cuando la maquina entra en carga.

- Podemos comprobar que la rotura de la matriz es similar para las amasadas sin adherente, 1% y 2% liquido, aumentando ésta para 1% y 2% sólido.

-En la fase de endurecimiento las probetas de 2%, tanto de liquido como de solido sufren un incremento mayor que las de 1%, aumentando su capacidad de recuperación , esto puede ser debido a la homogeneidad de las fibras en esta sección de la probeta y a la mayor cantidad de promotor de adherencia.

- En este caso podemos concluir que el promotor adherente tanto liquido como solido mejora la resistencia a flexión, puesto que de las cinco probetas la de menor tenacidad total es la de sin fibras



12,4 Fibras 1% liquido



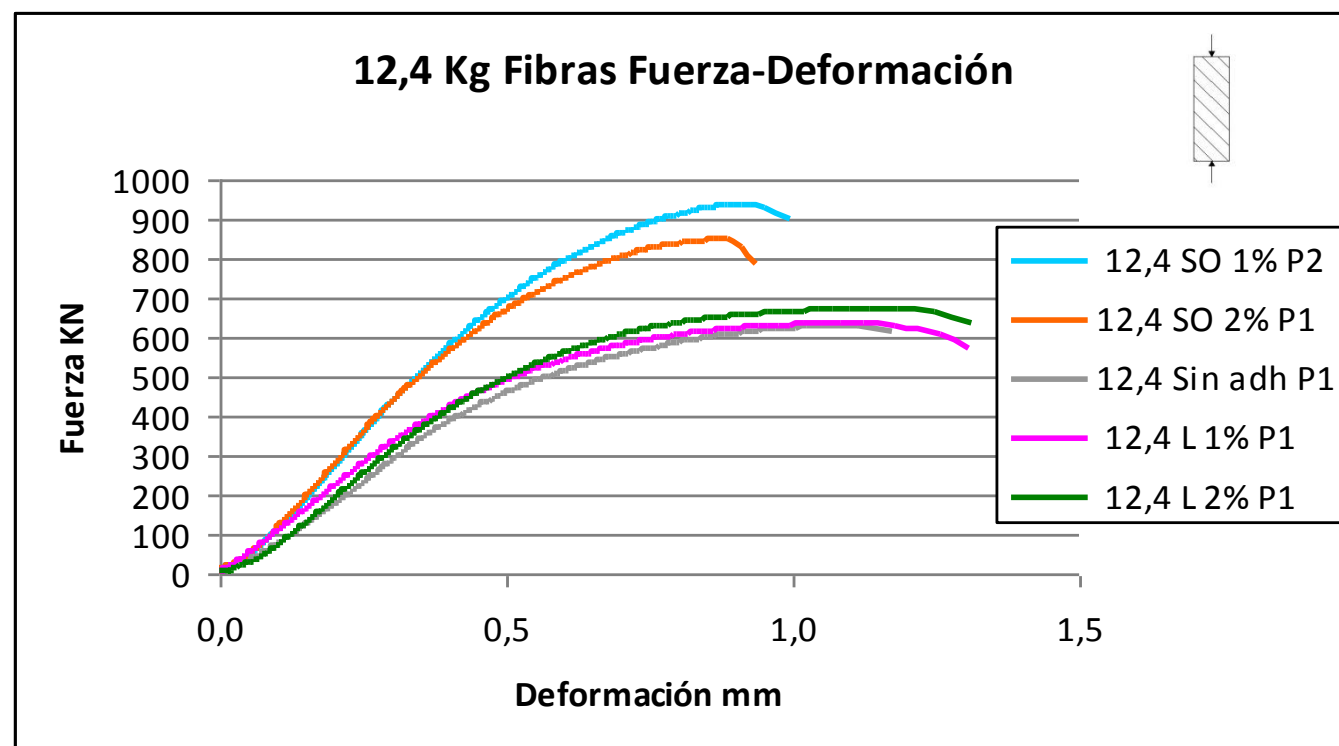
12,4 Fibras 2% liquido



12.4 Fibras 1% Solido



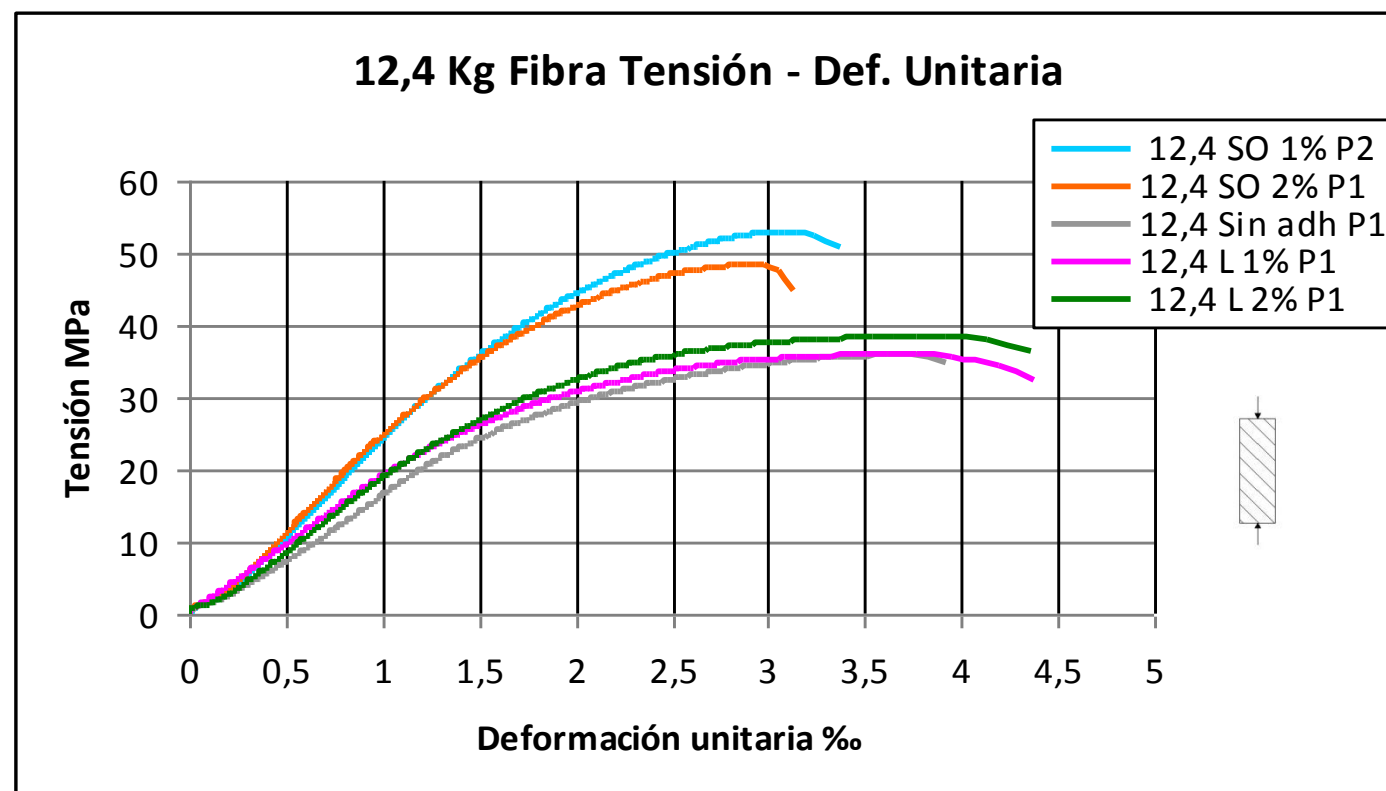
12.4 Fibras 2% Solido



El resultado en los ensayos de compresión son similares exceptuando las amasadas de 1% y 2% sólido.

Se puede observar como para una misma cantidad de fibras y distinto tipo de promotor adherente, la resistencia aumenta con el promotor de adherencia sólido respecto a la líquida, disminuyendo también la deformación en ambas.

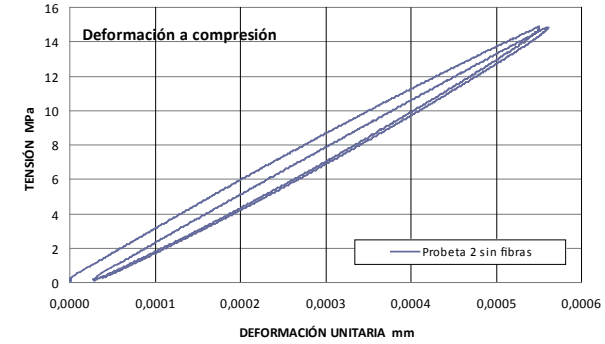
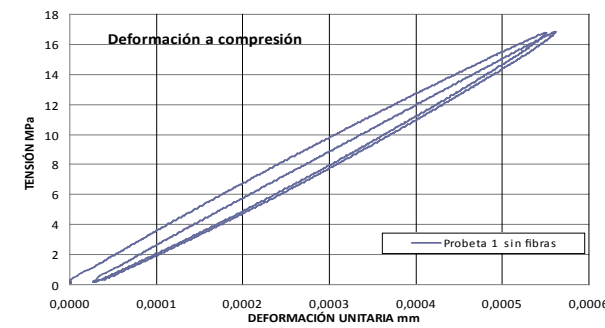
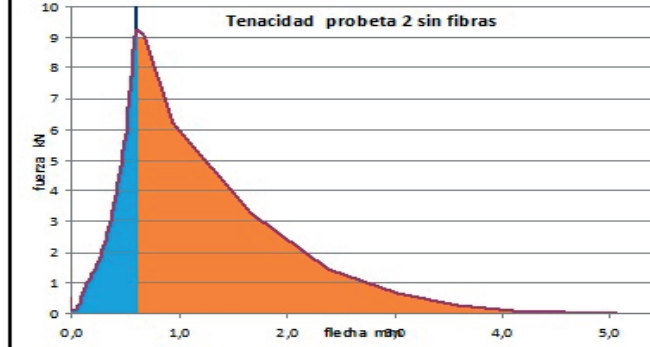
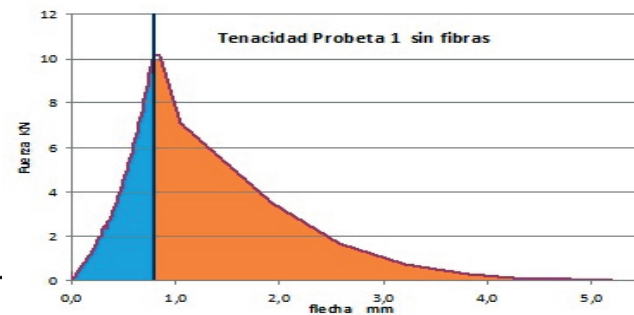
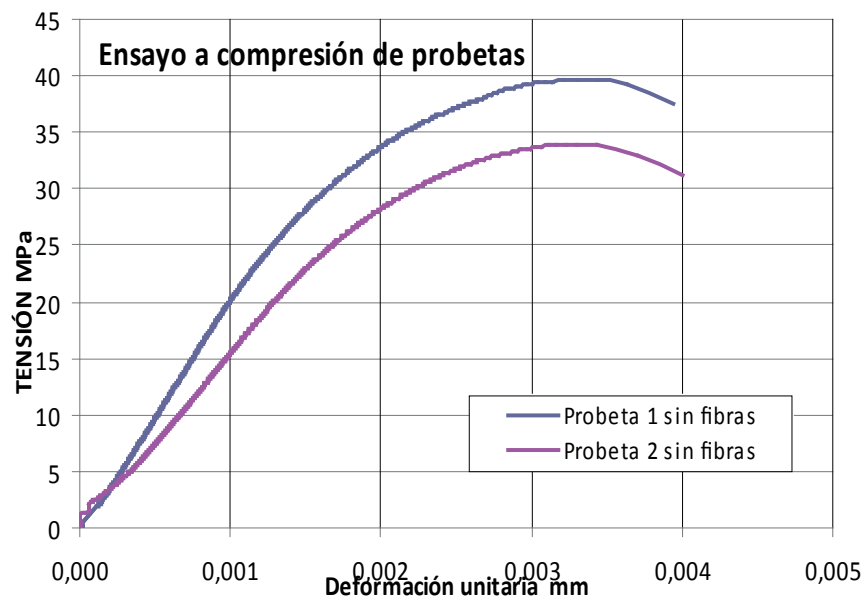
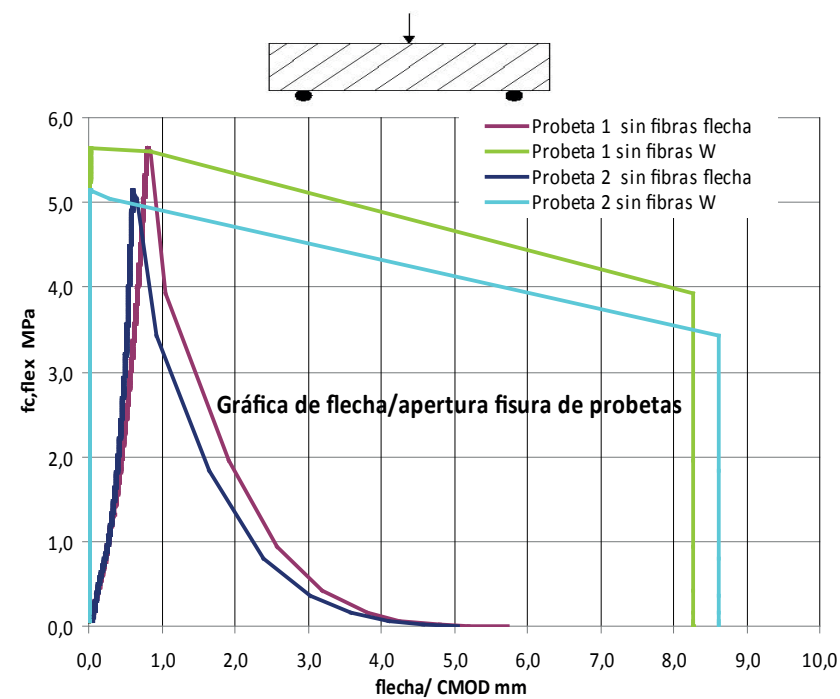
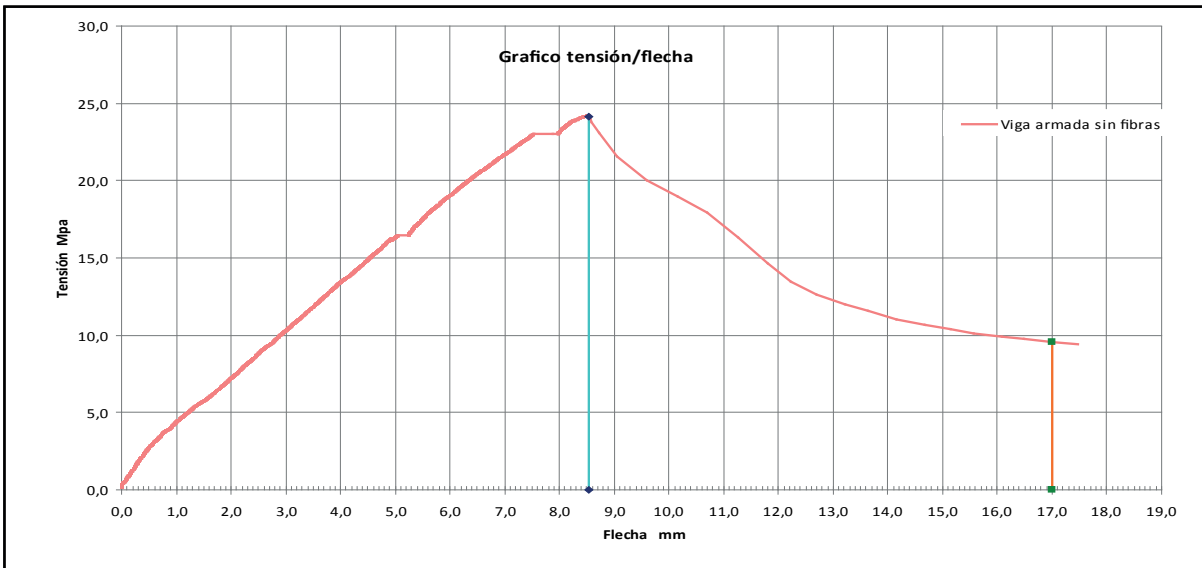
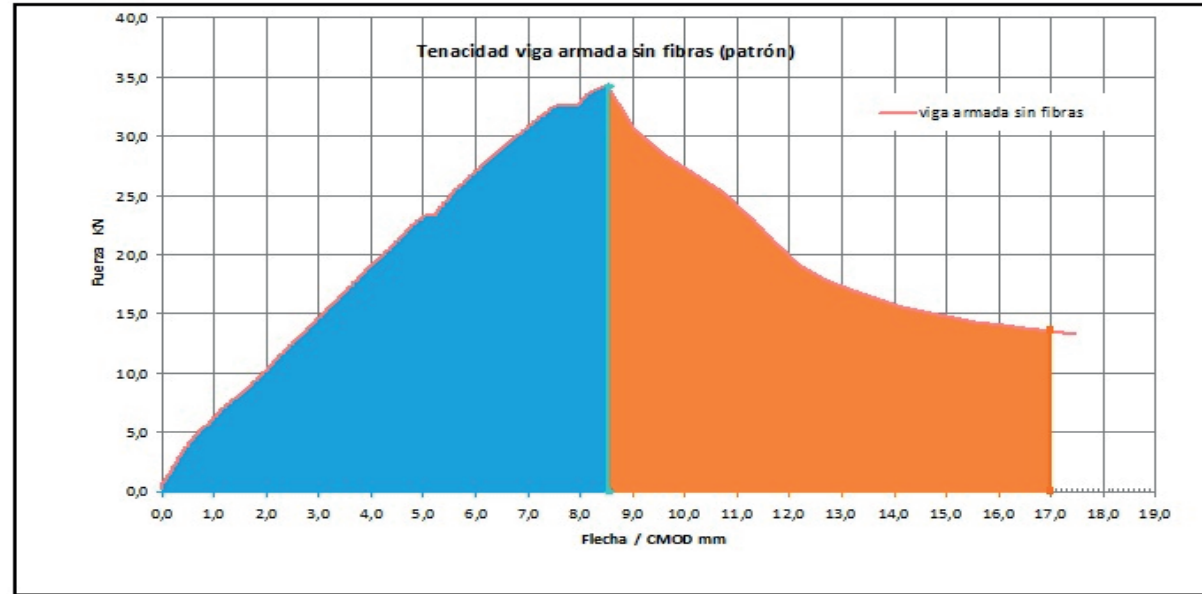
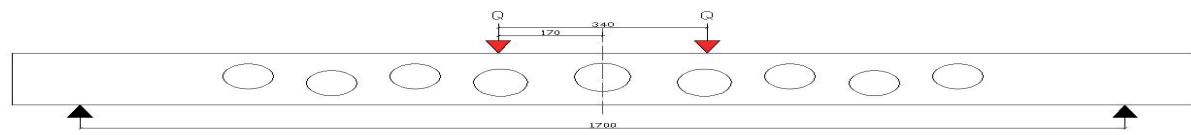
Aunque la resistencia a compresión no debería verse afectada significativamente por el contenido de fibras, podemos concluir que la adición de promotor adherente sólido mejora la resistencia a compresión como puede mostrarse en las gráficas mientras que el promotor líquido mejora la resistencia ligeramente.



**5.7 RESUMENES VIGAS ALIGERADAS**



# Viga 1 patrón armada sin fibras



## Tenacidad del HAC sin fibras y de la viga patrón armada

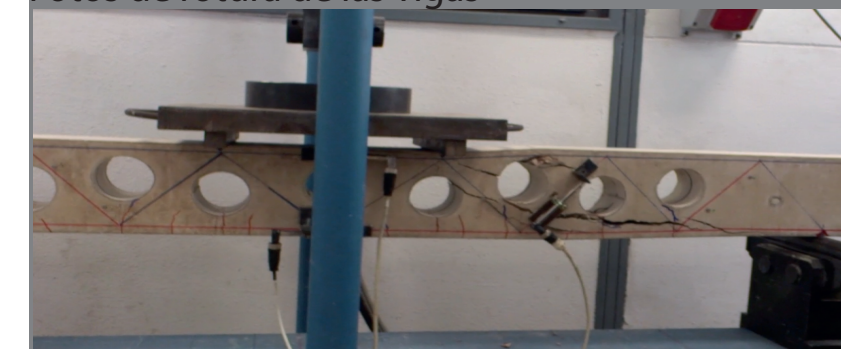
Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N-mm)	5212,40	3662,83	171228,521
ABLANDAMIENTO (N-mm)	0,00	0,00	0,00
ENDURECIMIENTO (N-mm)	0,00	0,00	0,00
POST ROTURA (N-mm)	9941,20	8820,41	176437,295
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)	15153,60	12483,24	347665,816
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N-mm)	507262,19	443611,70	X

## Capacidades mecánicas del HAC sin fibras a los 28 días

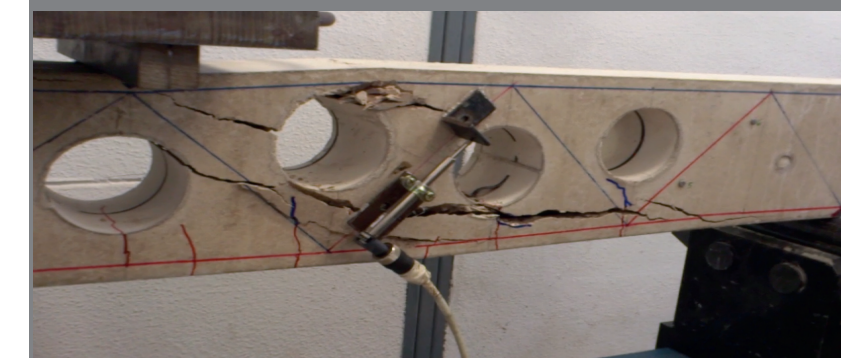
	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	38,38	37,23
fc cubica (MPa)	42,74	43,80
E <sub>C</sub> (MPa)	30053	30049
fc,flex (MPa)	5,64	5,11
fc,flex Matriz (MPa)	5,64	5,11
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,64	5,11
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	5,61	5,04
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	-	-
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	-	-
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	-	-
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	20693	31511,17

	ENSAYOS FRESCO					DOSIFICACIÓN		
	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)	Material	Ud.	Cant.
SIN FIBRA	3,5	705	47,50%	640	7,5	Cemento	Kg	325
CON FIBRA	-	-	-	-	-	Agua	L	195
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20	Finos	Kg	18,5
						Arena 0/2	Kg	517
Sin fibra	-	-	-	-	-	Arena 0/4	Kg	757
						Grava 4/12,5	Kg	553,9
Aire ocluido (%)	2,8					Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
						Fibras T60	Kg	-

## Fotos de rotura de las vigas

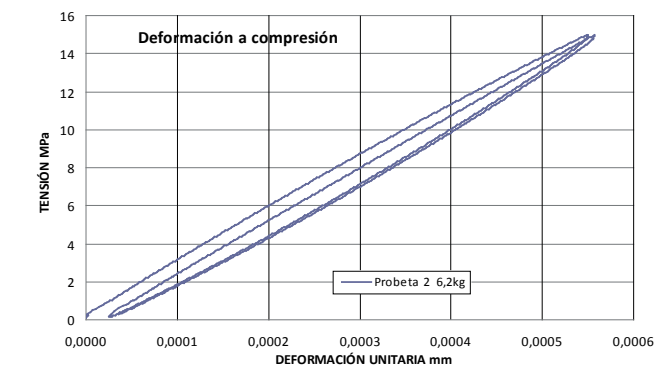
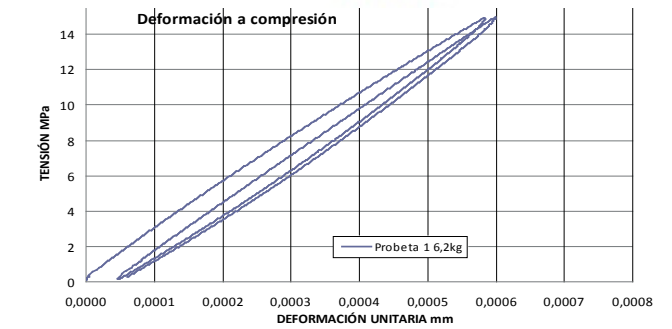
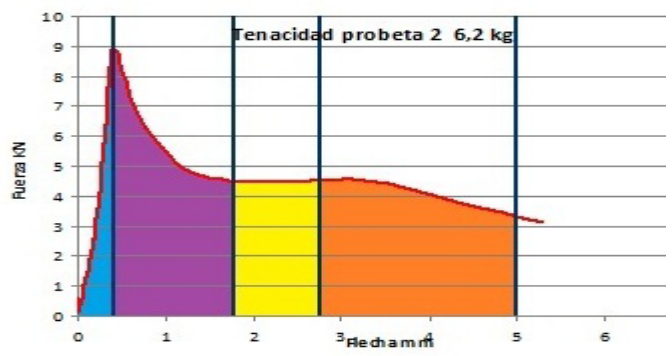
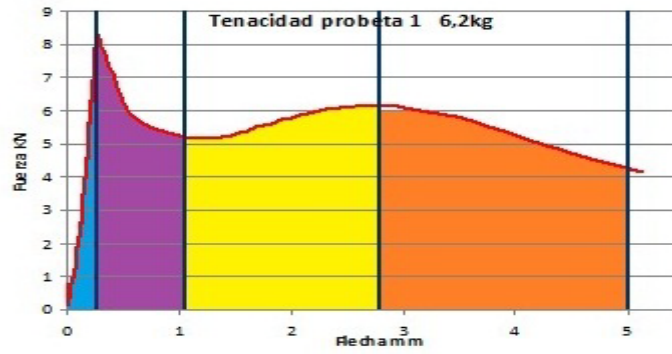
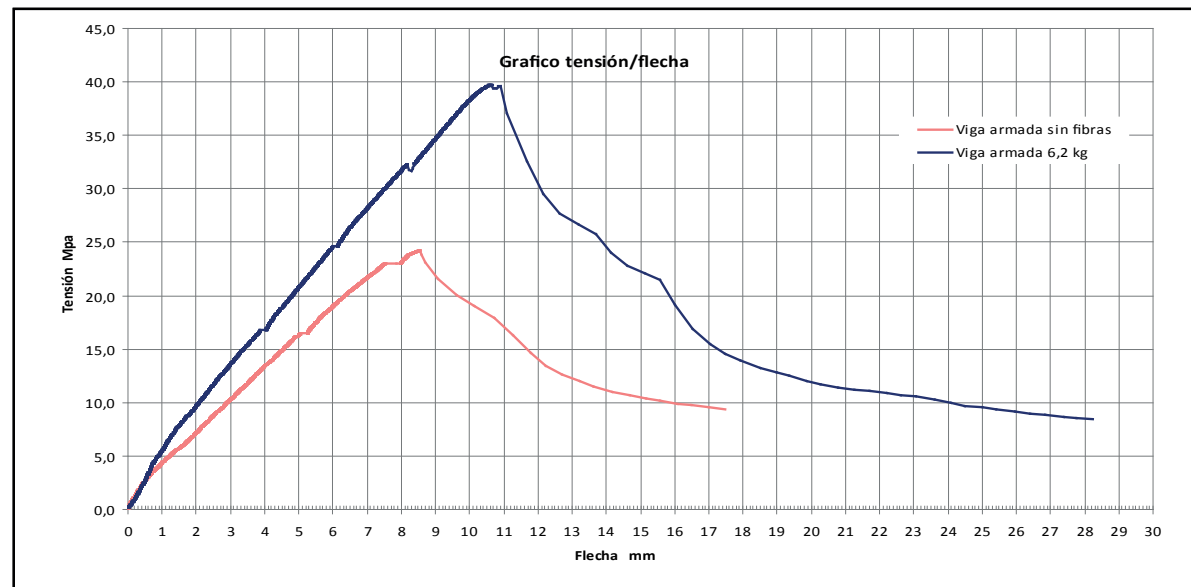
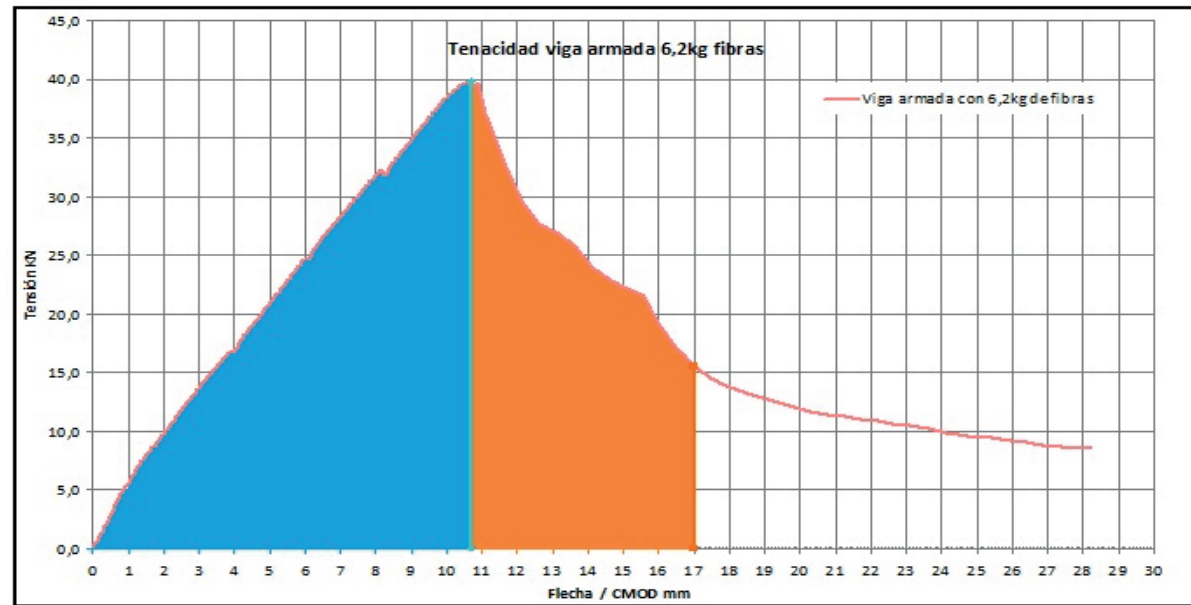
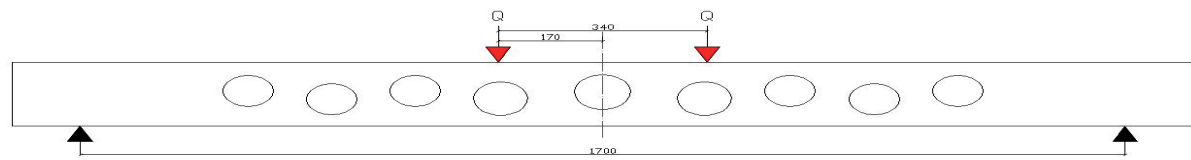


Tipo de rotura a cortante en la zona localizada de aplicación de cargas



Se puede observar como la grieta se extiende de forma inclinada desde la zona del apoyo hasta la zona de aplicación de cargas.

# Viga 2 armada 6,2kq fibras



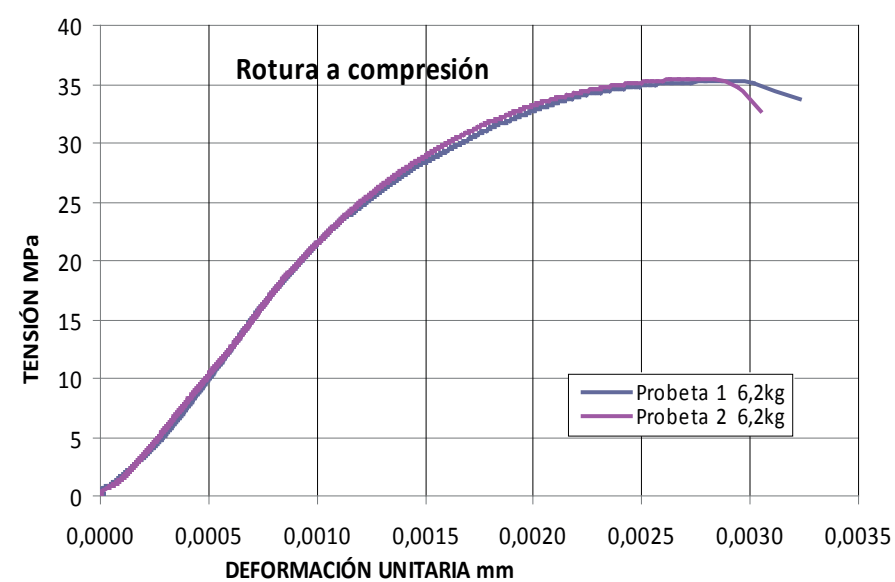
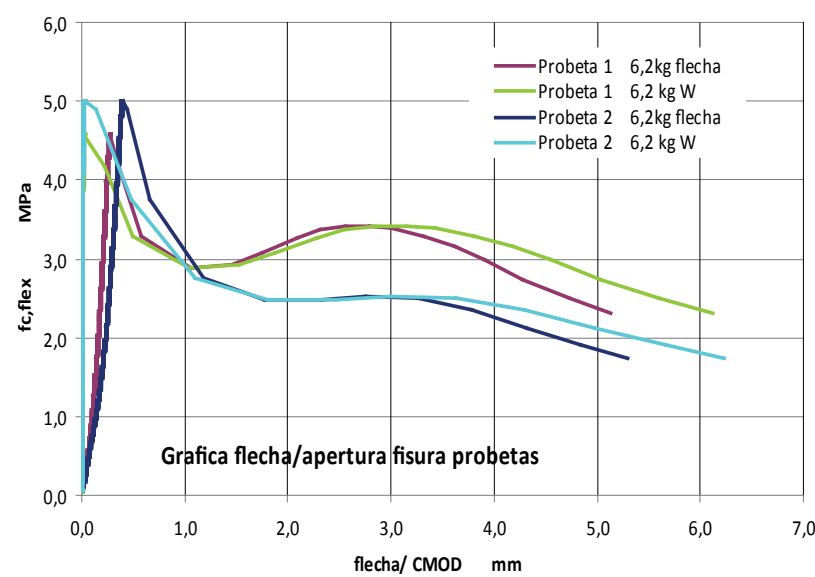
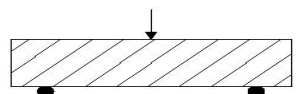
## Tenacidad del HAC con 6,2kg fibras y viga con armado completo

Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N-mm)	3114,20	4093,30	234079,746
ABLANDAMIENTO (N-mm)	6963,20	10046,00	0,00
ENDURECIMIENTO (N-mm)	9082,30	4262,90	0,00
POST ROTURA (N-mm)	13270,00	9388,30	170856,678
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)	32429,70	27790,50	404936,424
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N-mm)	387781,46	355775,78	X

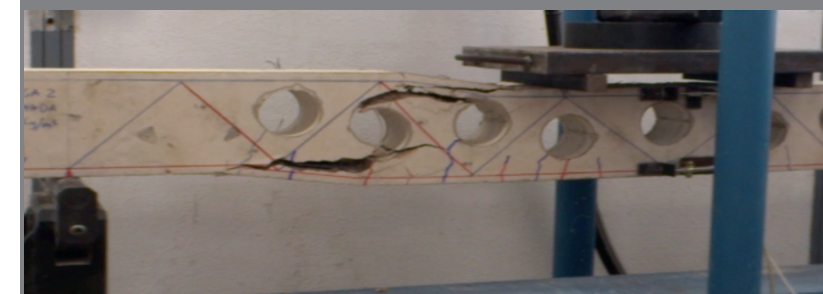
## Capacidades mecánicas del HAC con 6,2 kg fibras a los 28 días

	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	35,00	35,46
fc cubica (MPa)	38,83	41,41
E <sub>c</sub> (MPa)	27247	27914
fc,flex (MPa)	4,60	4,90
fc,flex Matriz (MPa)	4,60	4,90
fc,CMOD 0,05 (MPa)	3,11	3,75
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,32	3,37
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	2,98	2,48
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,36	2,47
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,37	2,51
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	42323	34109

	ENSAYOS FRESCO					Dosificación Kg/m <sup>3</sup>		
	Ecurrimiento		Japones		V	Material	Ud.	Cant.
	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)			
SIN FIBRA	3,5	700	-	-	-	Cemento	Kg	325
CON FIBRA	5	540	16,10%	500	14	Agua	L	195
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850	-	d <sub>jf</sub> >d <sub>f</sub> -50	4<Tv<20	Finos	Kg	18,5
Sin fibra						Arena 0/2	Kg	517
						Arena 0/4	Kg	757
						Grava 4/12,5	Kg	553,9
						Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Aire ocluido (%)	1,60%					Fibras T60	Kg	6,2
						Agua/CEM		0,6



## Fotos de rotura de las vigas

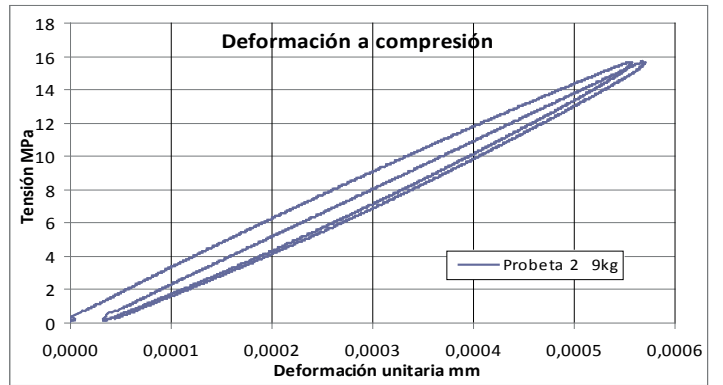
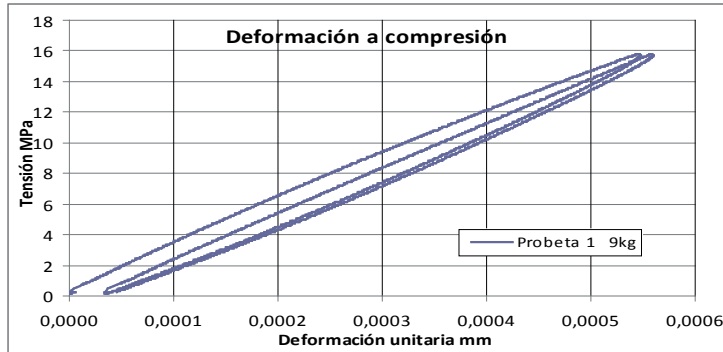
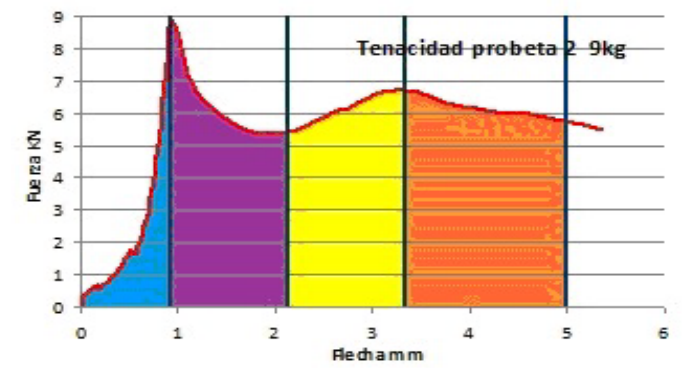
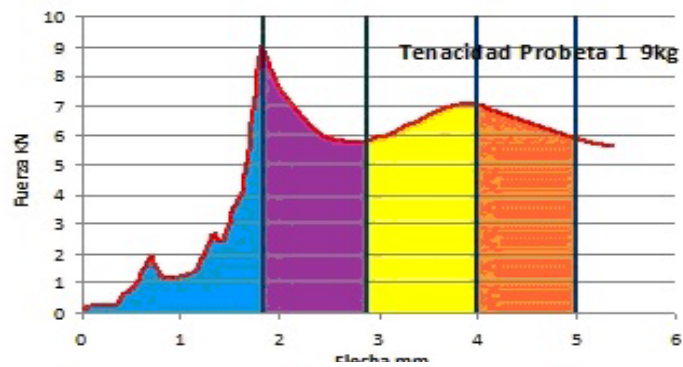
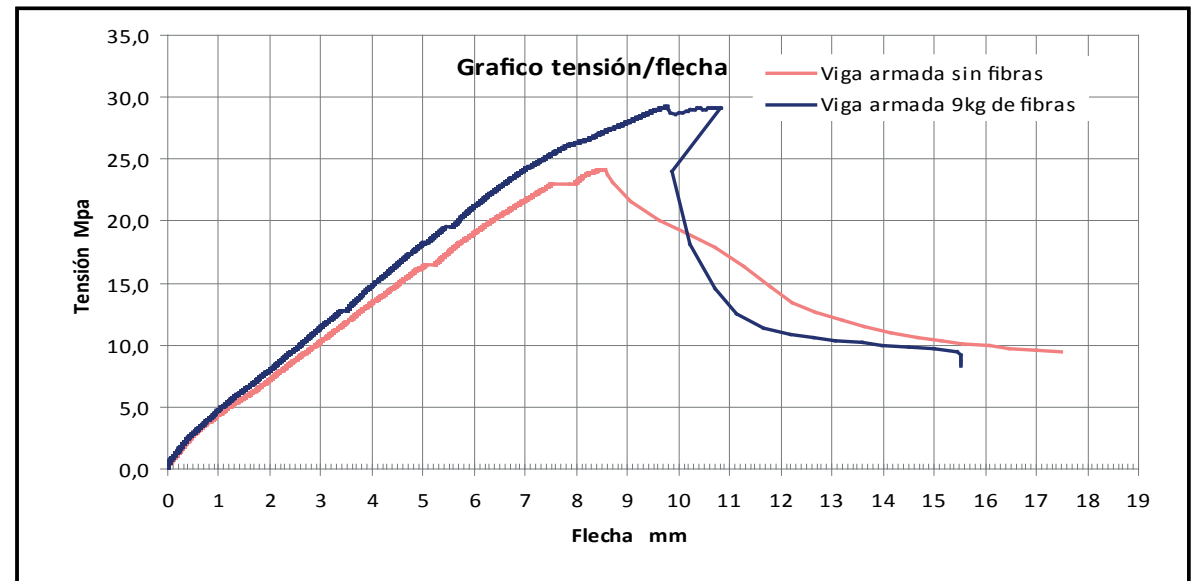
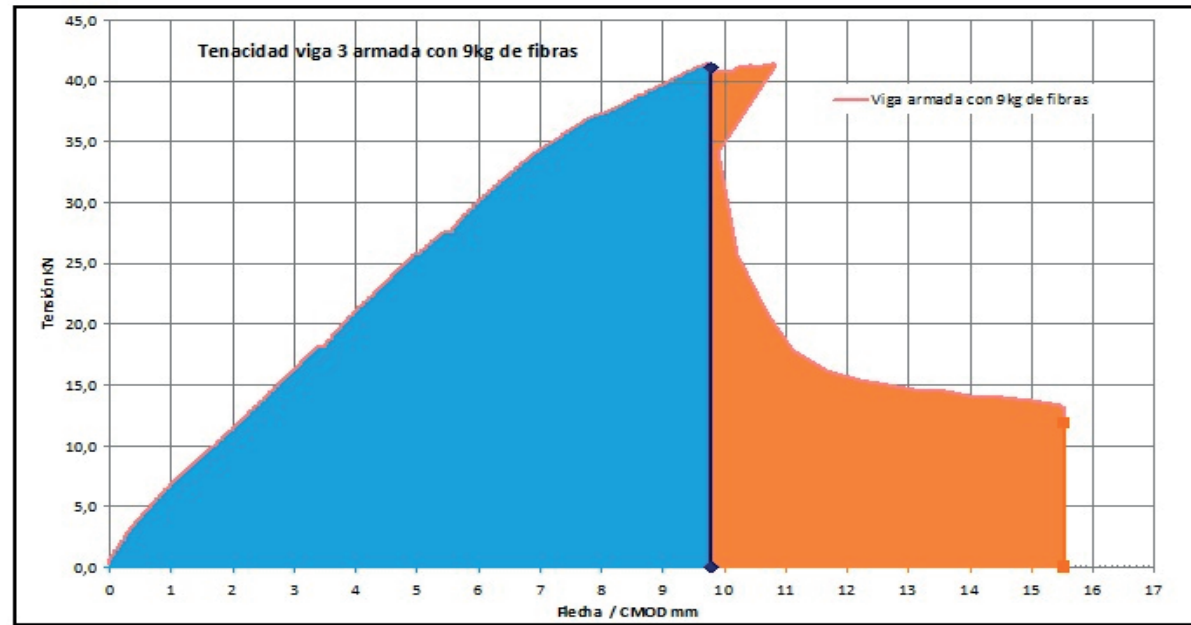
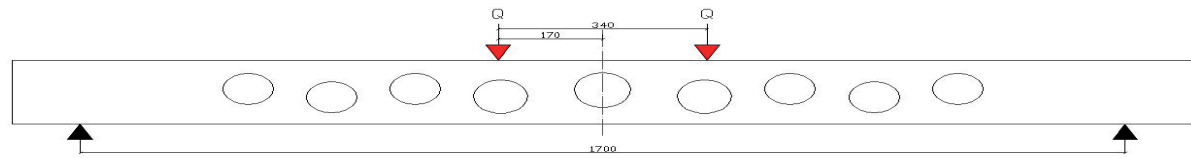


Rotura producida por cortante en el primer tercio de apoyo del lado izquierdo.



La grieta se inicia cercana a la zona de la resultante del apoyo y se dirige en una inclinación de 45 grados hasta el apoyo de la carga.

# Viga 3 armada 9kg fibras



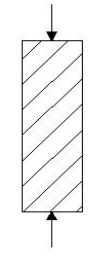
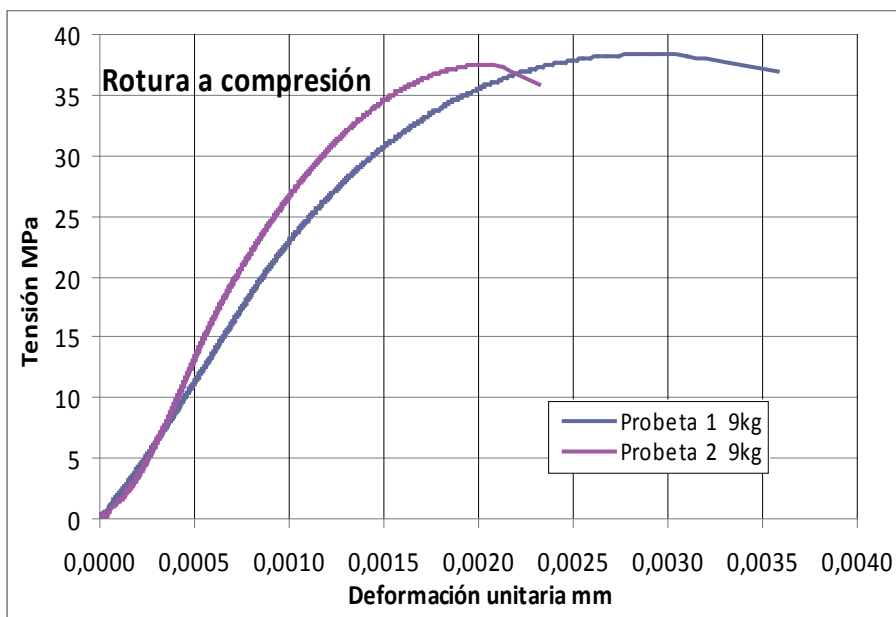
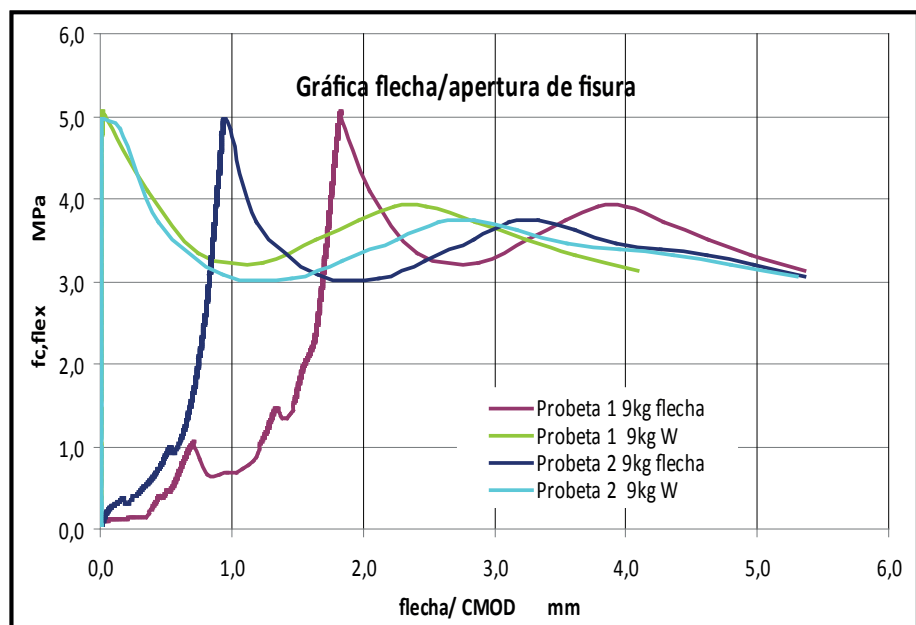
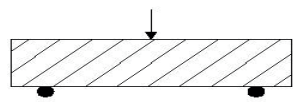
## Tenacidad del HAC con 9kg de fibras y de la viga armada completa

Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N-mm)	5421,80	4685,96	283620,58
ABLANDAMIENTO (N-mm)	9223,20	8986,97	0,00
ENDURECIMIENTO (N-mm)	7072,00	7330,91	0,00
POST ROTURA (N-mm)	8939,00	12828,31	130077,331
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)	30656,00	33832,15	413697,911
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N-mm)	438770,10	275341,97	X

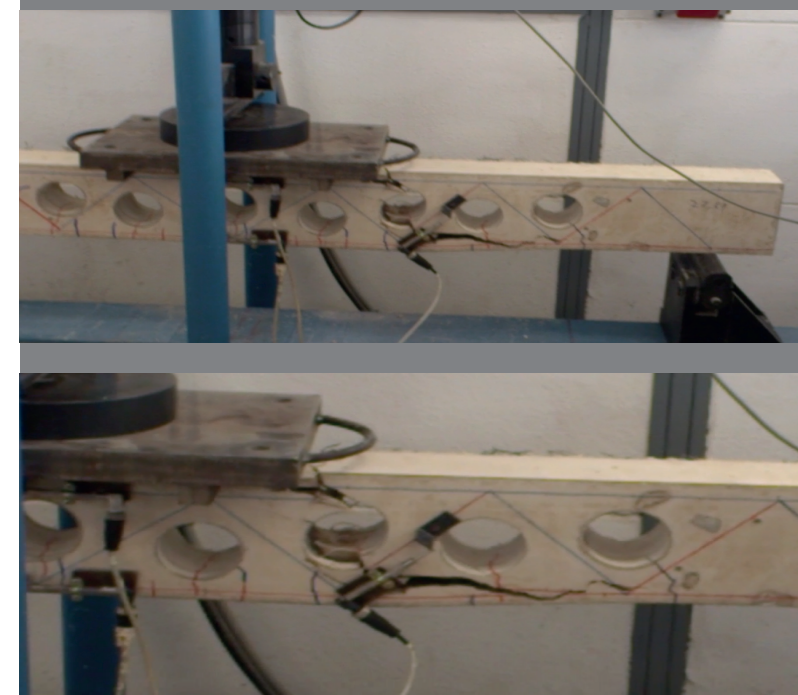
## Capacidades mecánicas del HAC con 9 kg fibras a los 28 días

	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	38,26	37,39
fc cubica (MPa)	42,24	41,67
E <sub>c</sub> (MPa)	29606	28972
fc,flex (MPa)	5,05	4,95
fc,flex Matriz (MPa)	5,05	4,95
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,01	4,95
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,00	3,71
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	3,49	3,03
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,91	3,71
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,32	3,46
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	25627	28944,12

ENSAYOS FRESCO					Dosificación Kg/m <sup>3</sup>			
	Escurreimiento		Japones		V	Material	Ud.	Cant.
	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)				
SIN FIBRA	4	670	-	-	-	Cemento	Kg	325
CON FIBRA	5	585	10,10%	415	NULO	Agua	L	195
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20	Finos	Kg	18,5
Sin fibra						Arena 0/2	Kg	517
Aire ocluido (%)	2,20%					Arena 0/4	Kg	757
						Grava 4/12,5	Kg	553,9
						Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
						Fibras T60	Kg	9
						Agua/CEM		0,6



## Fotos de rotura de la viga

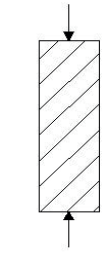
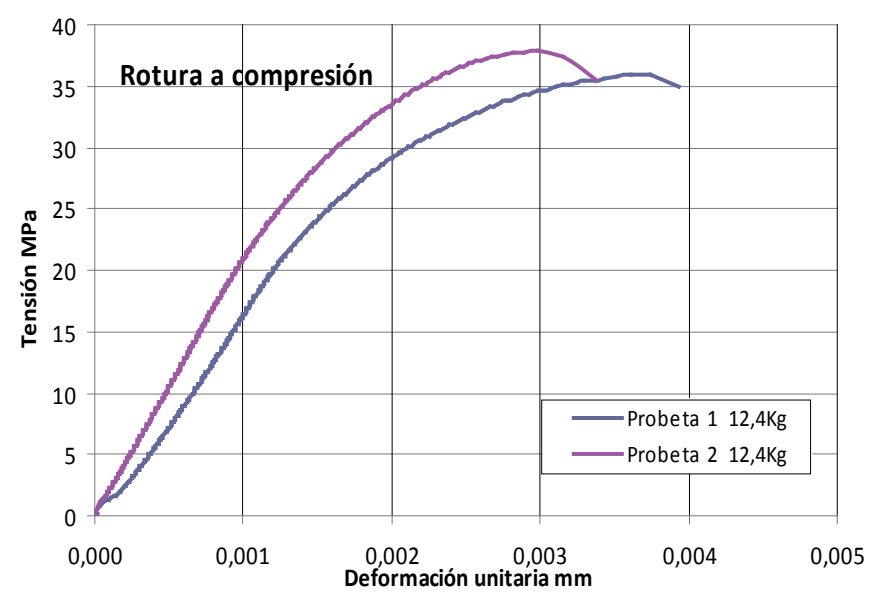
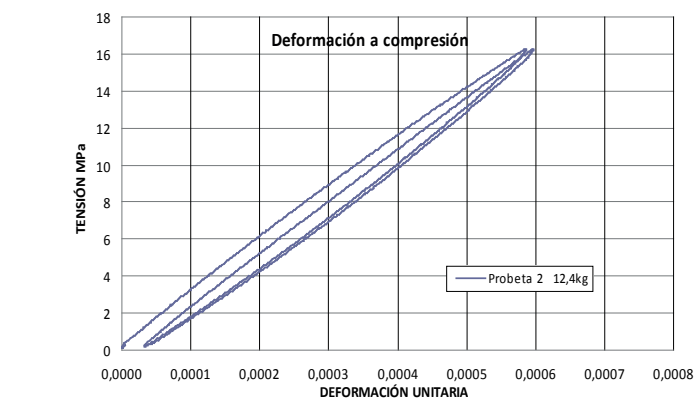
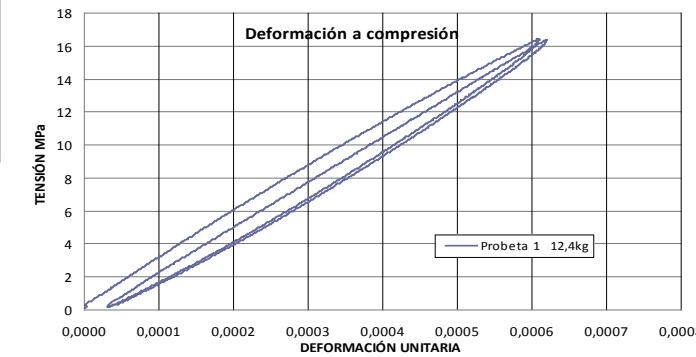
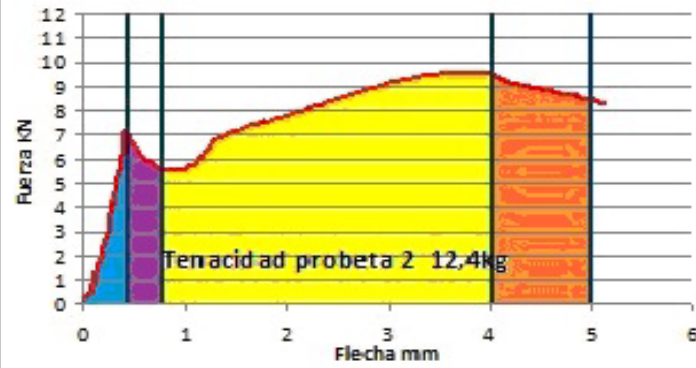
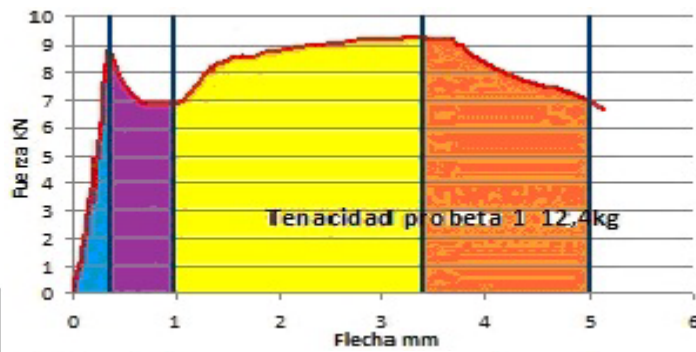
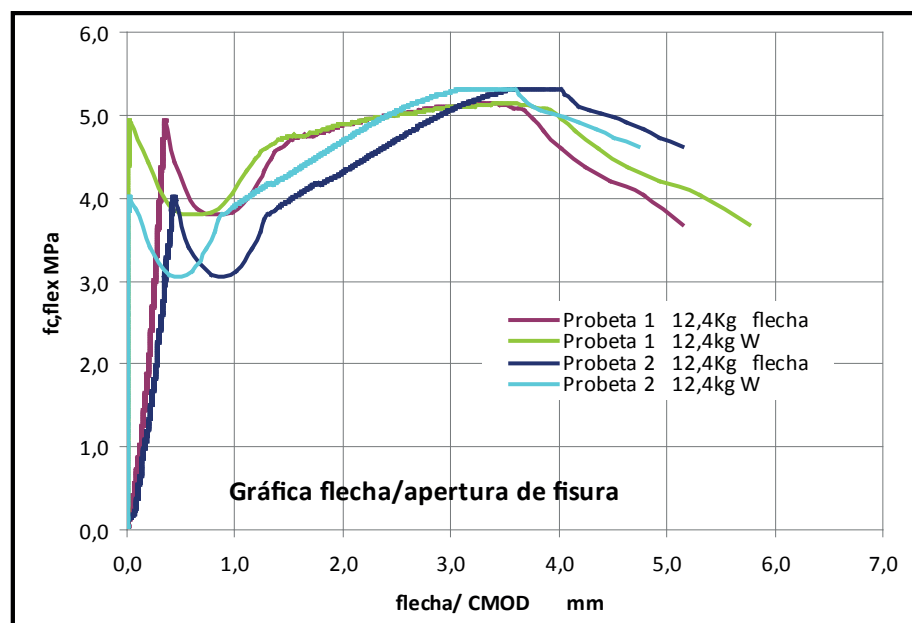
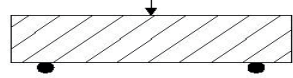
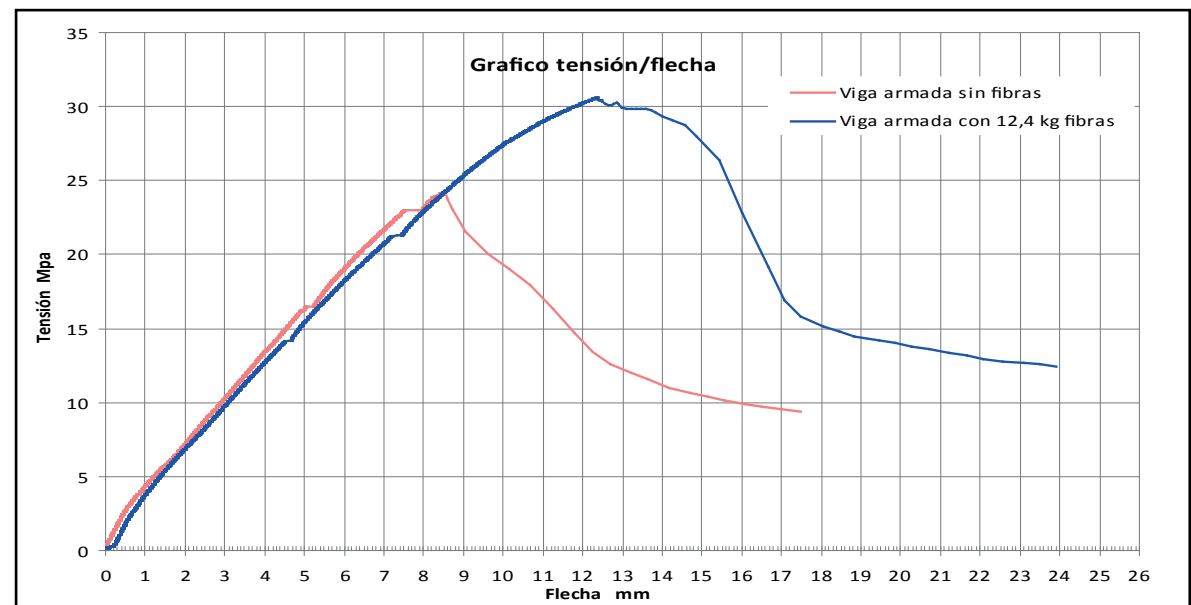
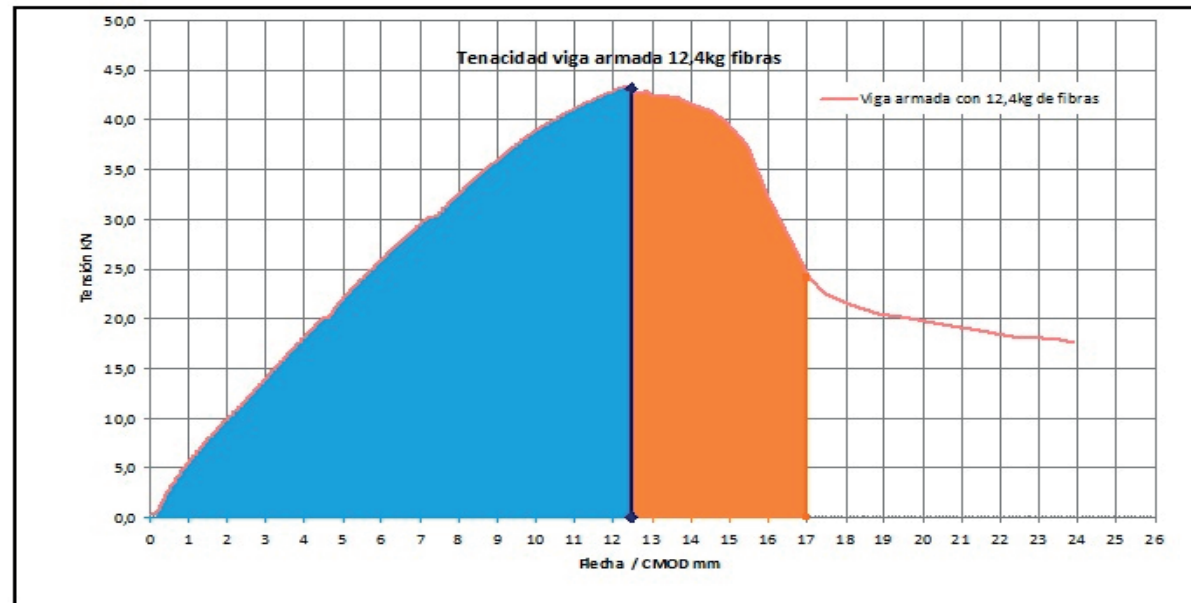
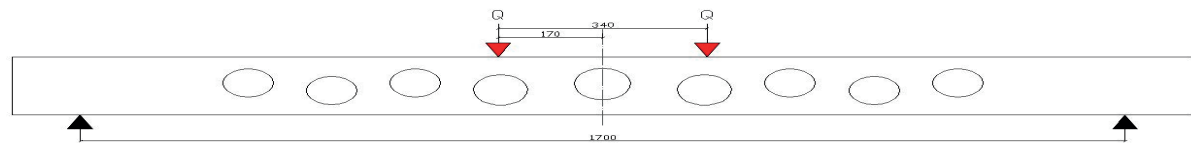


Rotura producida por cortante en el primer tercio del apoyo del lado derecho.

La rotura se inicia en el apoyo derecho producido por el cortante de la resultante y prosigue hasta la zona localizada de la aplicación directa de la carga.



# Viga 4 armada 12,4kg fibras



## Tenacidad del HAC con 12,4kg fibras y viga con armado completo

Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N-mm)	3993,89	3777,95	314410,588
ABLANDAMIENTO (N-mm)	5740,41	3359,75	0,00
ENDURECIMIENTO (N-mm)	20002,44	25431,79	0,00
POST ROTURA (N-mm)	16594,47	11424,91	185239,063
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)	46331,21	43994,40	499649,651
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N-mm)	504980,18	429936,54	X

## Capacidades mecánicas del HAC con 12,4 kg fibras a los 28 días

	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	35,89	37,94
fc cubica (MPa)	43,97	42,20
E <sub>C</sub> (MPa)	27365	28406
fc,flex (MPa)	5,15	5,31
fc,flex Matriz (MPa)	4,93	4,02
fc,CMOD 0,05 (MPa)	3,51	3,91
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,83	3,12
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	4,74	4,28
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	5,00	5,05
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	5,15	5,31
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	35298,8	21399,86

	ENSAYOS FRESCO					Dosificación Kg/m <sup>3</sup>		
	Escurrecimiento		Japones		V	Material	Ud.	Cant.
	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)			
SIN FIBRA	3	710	-	-	-	Cemento	Kg	325
CON FIBRA	NULO	NULO	NULO	NULO	NULO	Agua	L	195
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850	-	d <sub>if</sub> >d <sub>f</sub> -50	4<Tv<20	Finos	Kg	18,5
Sin fibra						Arena 0/2	Kg	517
Aire ocluido (%)	2,4					Arena 0/4	Kg	757
						Grava 4/12,5	Kg	553,9
						Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
						Fibras T60	Kg	12,4
						Agua/CEM		0,6

## Fotos de rotura de la viga

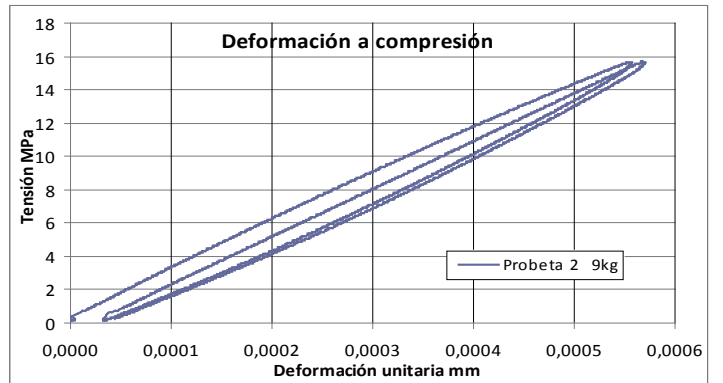
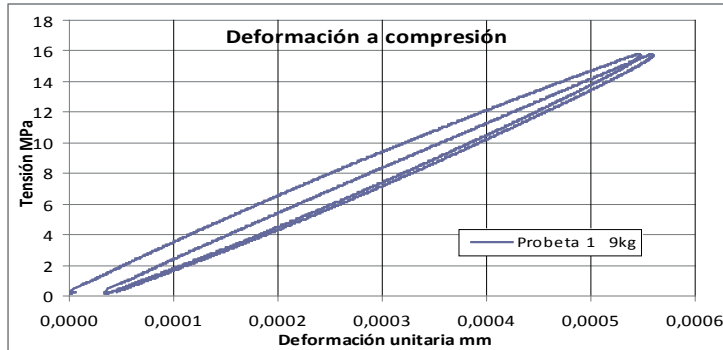
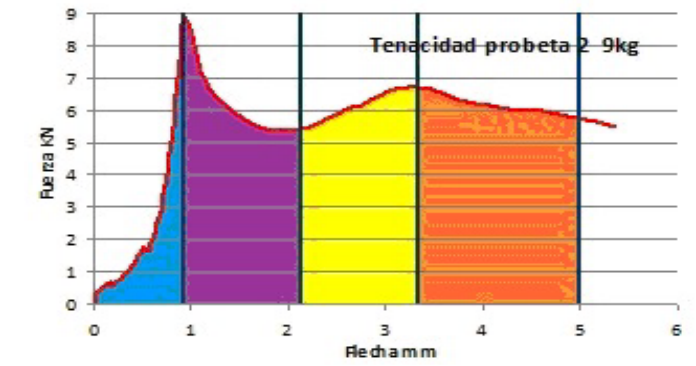
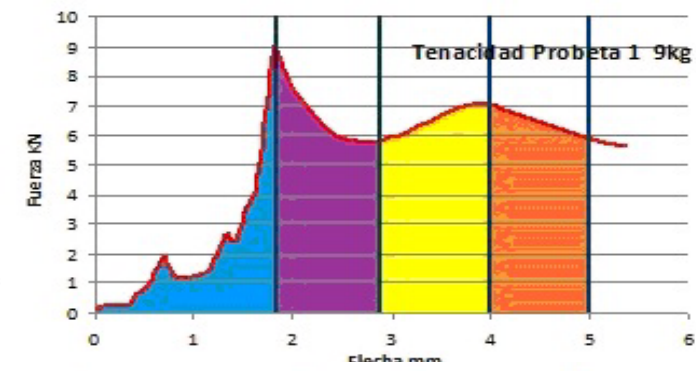
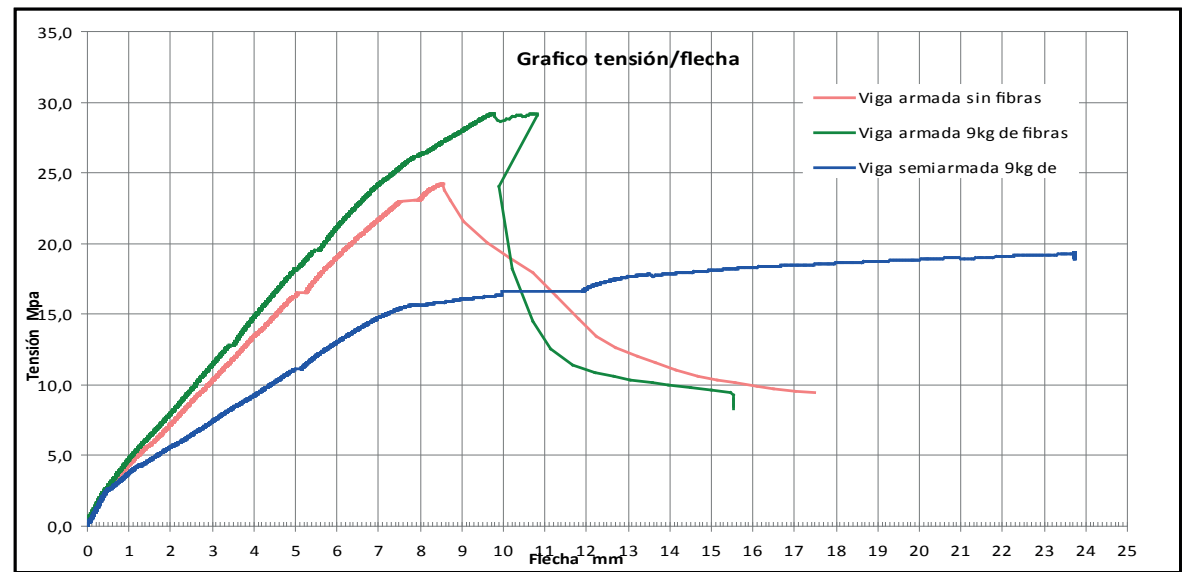
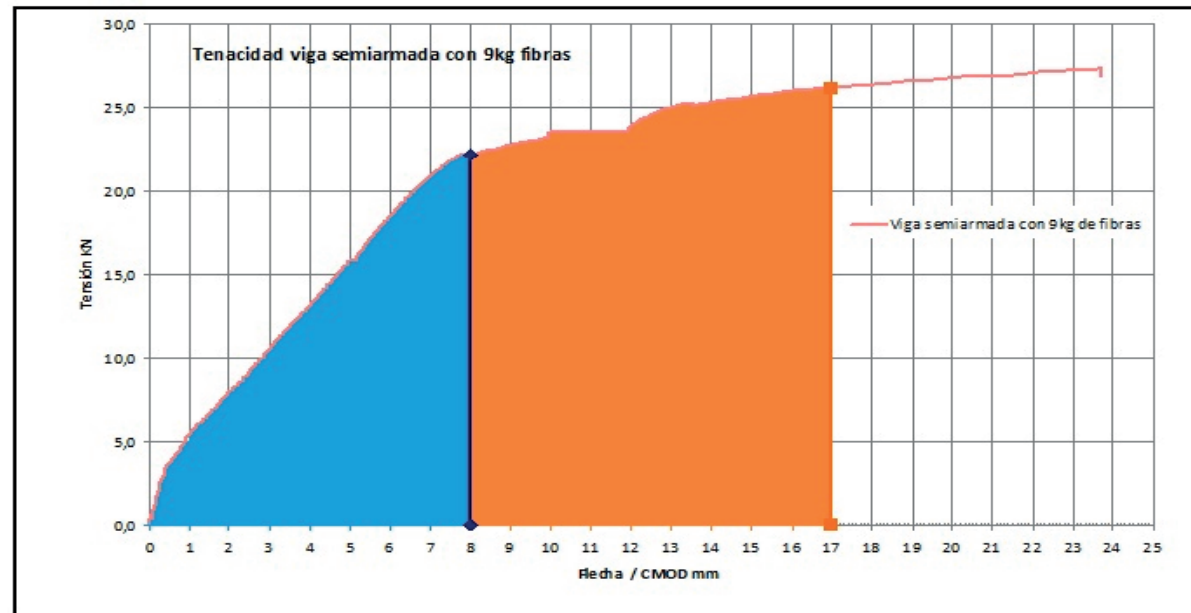
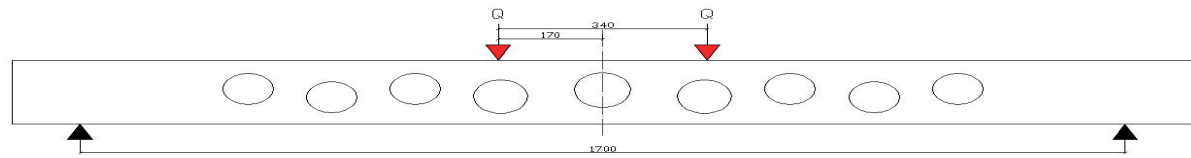


Rotura producida por cortante en el primer tercio del apoyo derecho



La grieta principal de rotura va desde la resultante del lado derecho y se extiende hasta el apoyo de la carga

# Viga 5 semiarmada 9kg fibras



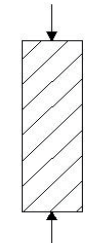
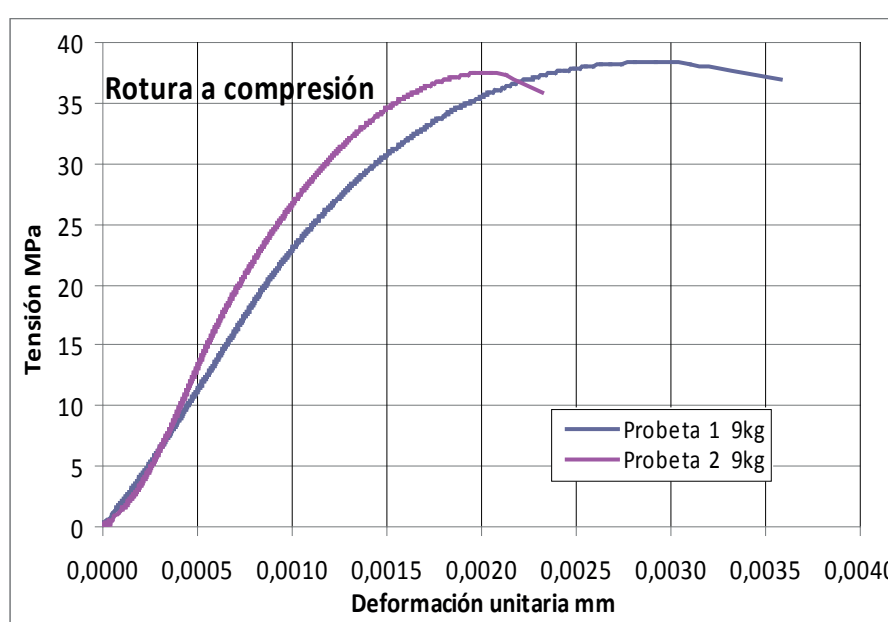
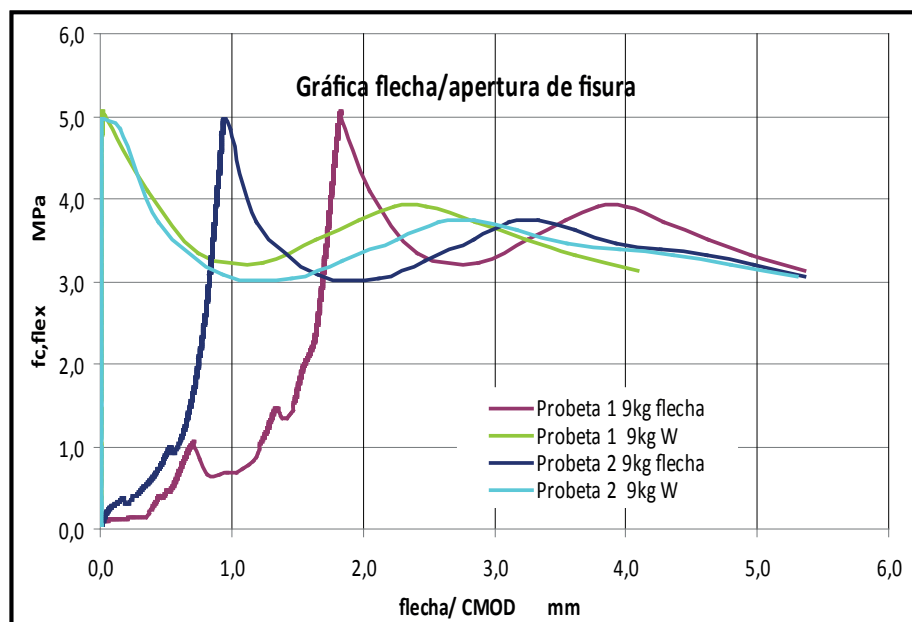
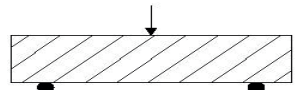
## Tenacidad del HAC con 9kg de fibras y de viga semiarmada

	Probeta 1	Probeta 2	Viga
Energía absorbida			
RESILIENCIA (N-mm)	5421,80	4685,96	105010,073
ABLANDAMIENTO (N-mm)	9223,20	8986,97	0,00
ENDURECIMIENTO (N-mm)	7072,00	7330,91	0,00
POST ROTURA (N-mm)	8939,00	12828,31	220134,745
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)	30656,00	33832,15	325144,818
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N-mm)	438770,10	275341,97	X

## Capacidades mecánicas del HAC con 9 kg fibras a los 28 días

	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	38,26	37,39
fc cubica (MPa)	42,24	41,67
E <sub>C</sub> (MPa)	29606	28972
fc,flex (MPa)	5,05	4,95
fc,flex Matriz (MPa)	5,05	4,95
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,01	4,95
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,00	3,71
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	3,49	3,03
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,91	3,71
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,32	3,46
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	25627	28944,12

	ENSAYOS FRESCO					Dosificación Kg/m <sup>3</sup>		
	Escurreimiento		Japones		V	Material	Ud.	Cant.
	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)			
SIN FIBRA	4	670	-	-	-	Cemento	Kg	325
CON FIBRA	5	585	10,10%	415	NULO	Agua	L	195
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20	Finos	Kg	18,5
Sin fibra						Arena 0/2	Kg	517
Aire ocluido (%)	2,20%					Arena 0/4	Kg	757
						Grava 4/12,5	Kg	553,9
						Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
						Fibras T60	Kg	9
						Agua/CEM		0,6



## Fotos de rotura de la viga

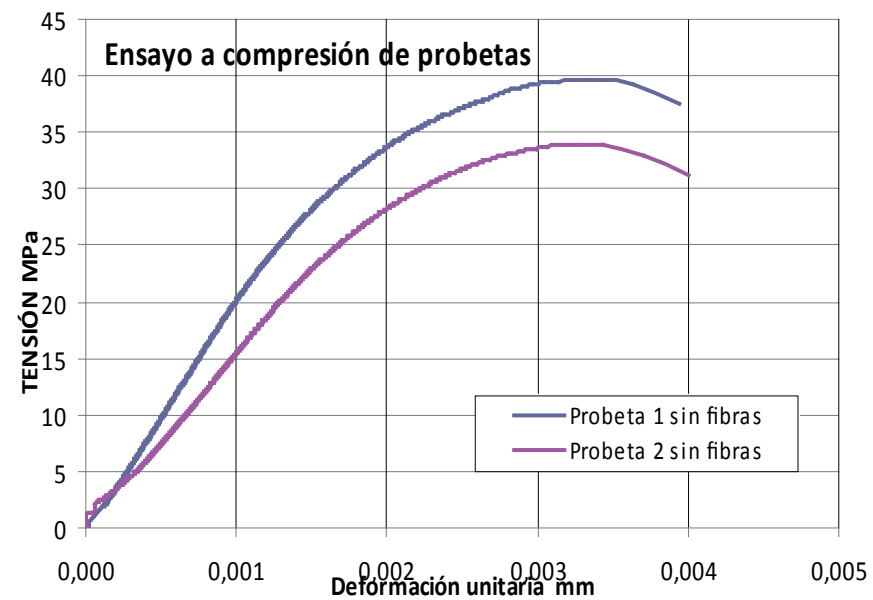
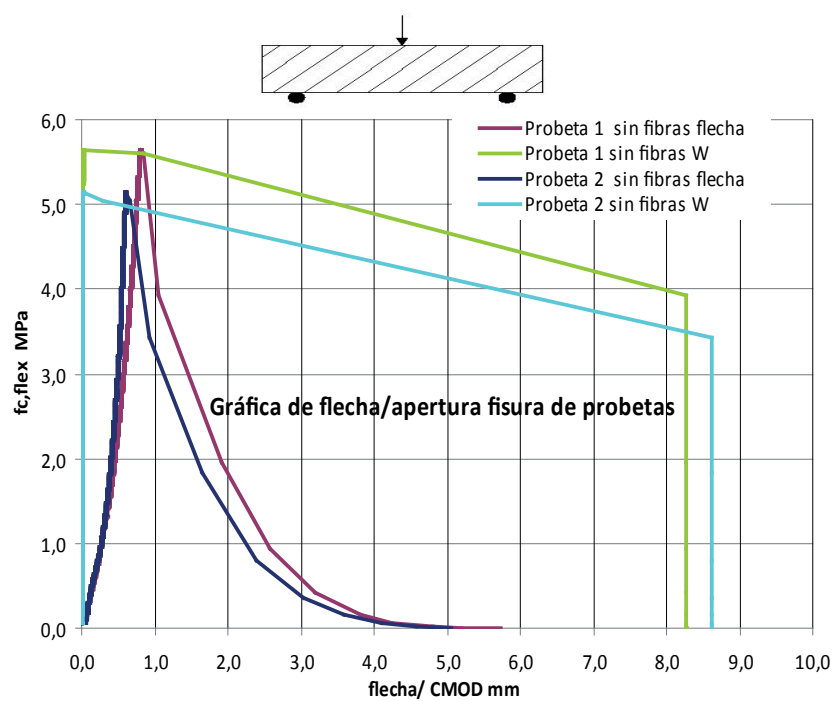
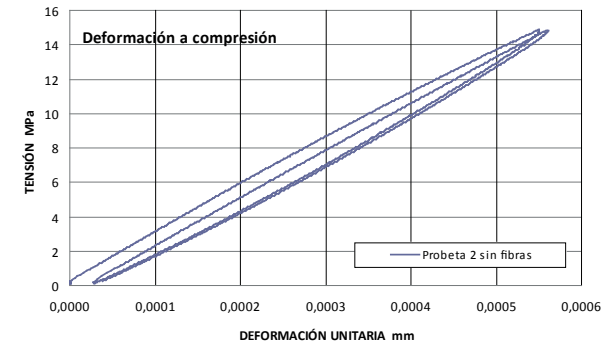
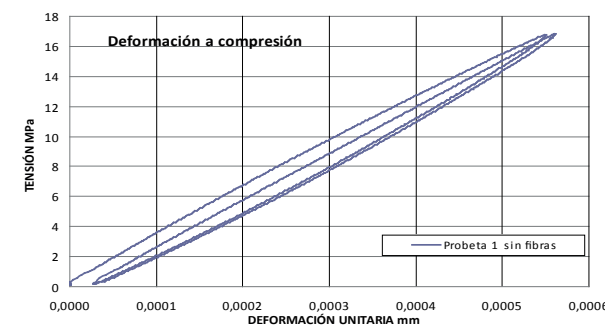
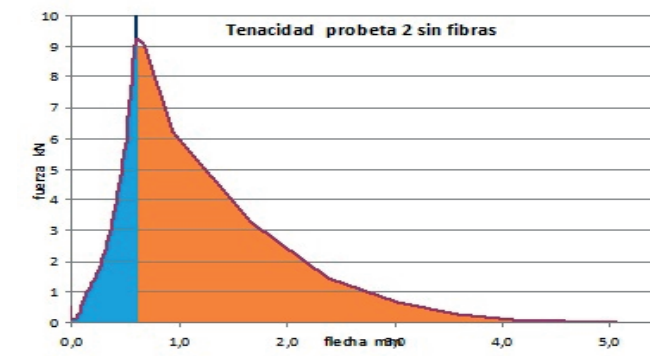
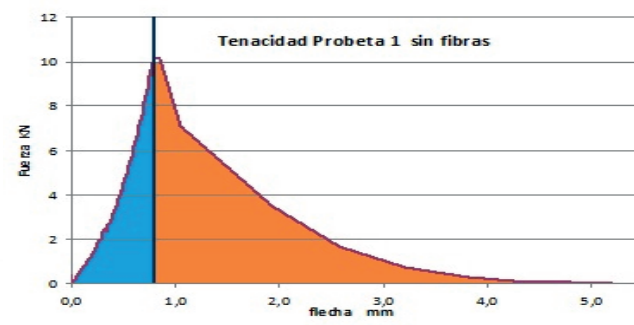
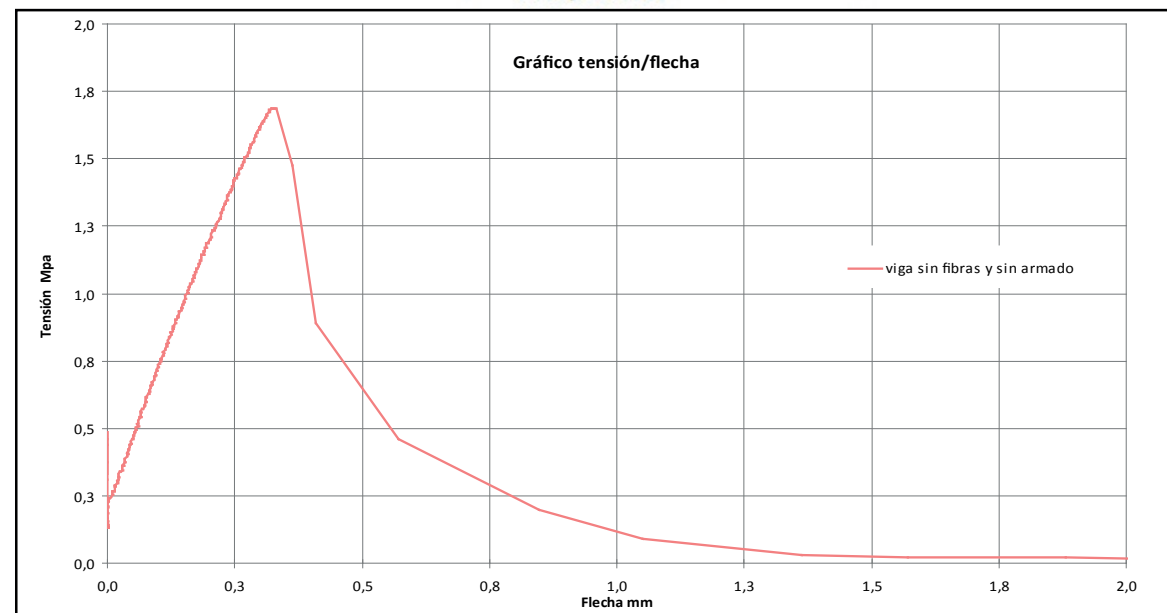
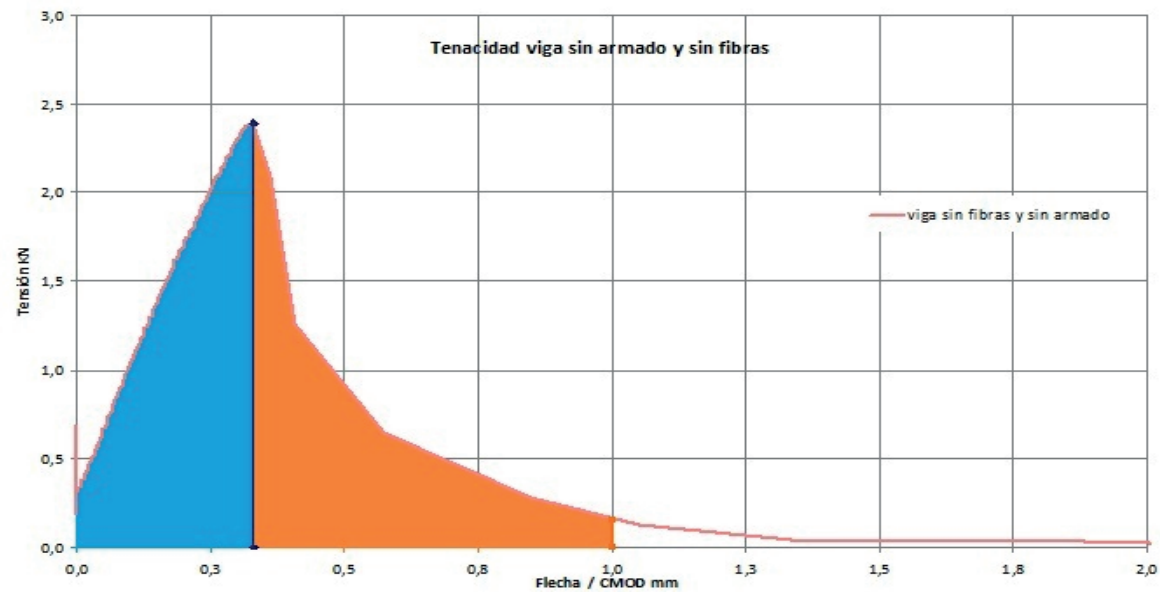
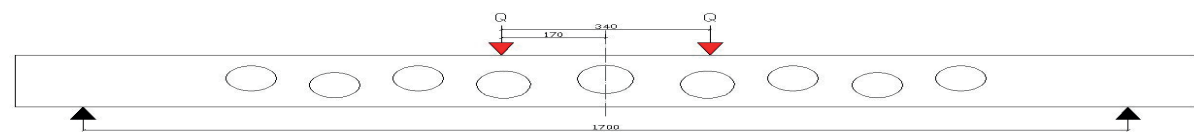


Rotura producida por flexión en el centro de vano.



Al reducir el armado del momento flector este es insuficiente para resistir en ese punto al aplicar las cargas. Fallando por momento en lugar de por cortante como las otras vigas.

# Viga 6 sin armado y sin fibras



## Tenacidad del HAC sin fibras y de la viga sin armado

Energía absorbida	Probeta 1	Probeta 2	Viga
RESILIENCIA (N-mm)	5212,40	3662,83	585,77
ABLANDAMIENTO (N-mm)	0,00	0,00	0,00
ENDURECIMIENTO (N-mm)	0,00	0,00	0,00
POST ROTURA (N-mm)	9941,20	8820,41	537,11
TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)	15153,60	12483,24	1122,88
TENACIDAD A COMPRESIÓN (N-mm)	507262,19	443611,70	X

## Capacidades mecánicas del HAC sin fibras a los 28 días

	Probeta 1	Probeta 2
fc cilíndrica (MPa)	38,38	37,23
fc cubica (MPa)	42,74	43,80
E <sub>C</sub> (MPa)	30053	30049
fc,flex (MPa)	5,64	5,11
fc,flex Matriz (MPa)	5,64	5,11
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,64	5,11
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	5,61	5,04
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	-	-
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	-	-
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	-	-
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	20693	31511,17

	ENSAYOS FRESCO					DOSIFICACIÓN		
	T <sub>50</sub> (s)	∅df (mm)	CbE (%)	∅df (mm)	Tv (s)	Material	Ud.	Cant.
SIN FIBRA	3,5	705	47,50%	640	7,5	Cemento	Kg	325
CON FIBRA	-	-	-	-	-	Agua	L	195
RANGO EHE-08	T<8s	550<df<850	-	djf>df-50	4<Tv<20	Finos	Kg	18,5
						Arena 0/2	Kg	517
Sin fibra	2,8					Arena 0/4	Kg	757
						Grava 4/12,5	Kg	553,9
Aire ocluido (%)	2,8					Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
						Fibras T60	Kg	-

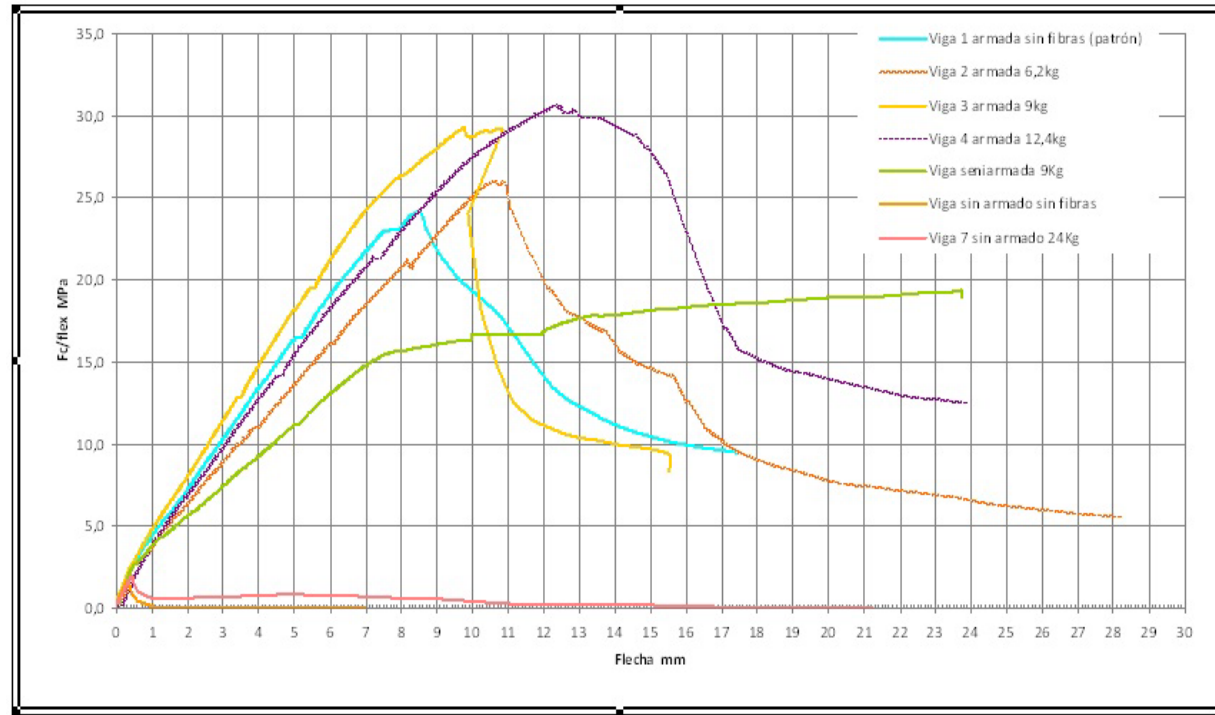
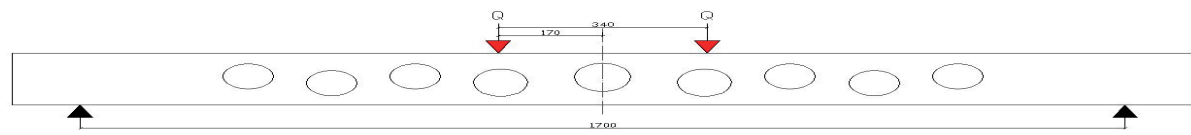
## Fotos de rotura de las vigas



La rotura de esta viga fue completamente frágil sin presentar ninguna ductilidad ni deformación. El material se fracturó en la zona de las cargas aplicadas.



## Comparativo de vigas

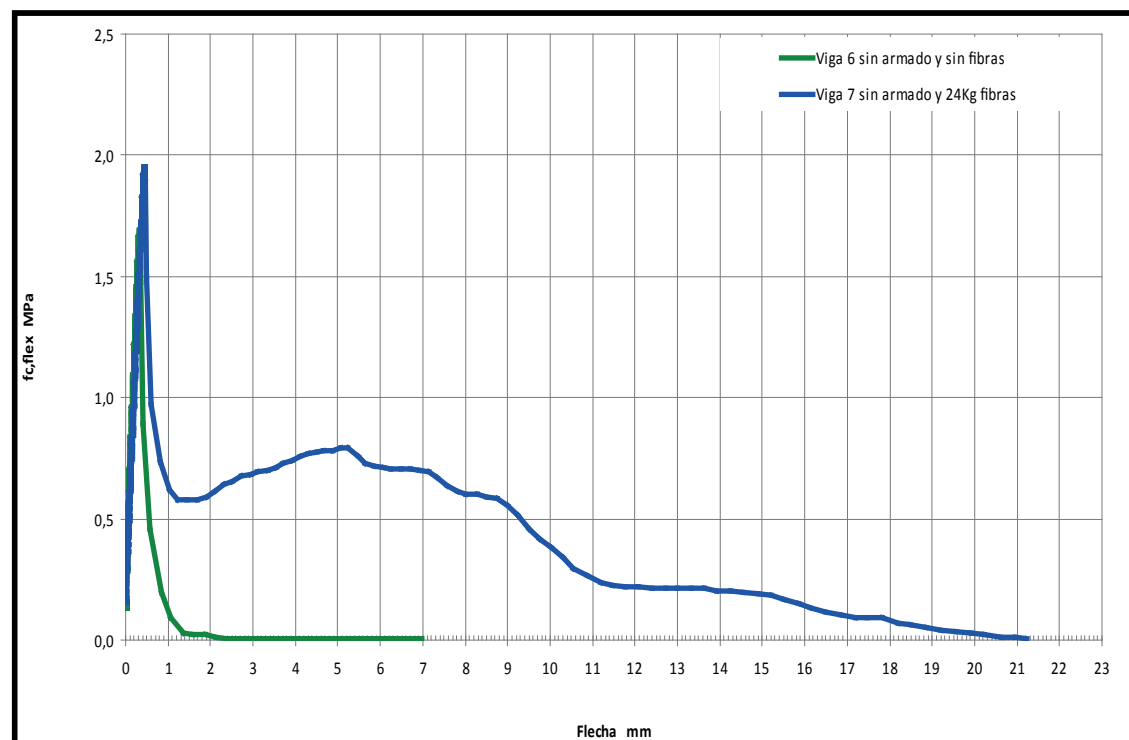


Tenacidades de vigas			
	RESILIENCIA (N-mm)	POST ROTURA (N-mm)	TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)
Viga 1 patrón	171228,521	176437,295	347665,816
Viga 2 armada 6,2kg	234079,746	170856,678	404936,424
Viga3 armada 9kg	283620,58	130077,331	413697,911
Viga 4 armada 12,4kg	314410,588	185239,063	499649,651
Viga 5 semiarmada 9kg	105010,073	220134,745	325144,818
Viga 6 sin armado 0kg	585,77	537,11	1122,88
Viga 7 sin armado 24kg	857,14	7722,08	8579,22

Viga 1 patrón	Incremento limite de rotura 24,19 Mpa	Incremento de tenacidad -
Viga 2 armada 6,2kg	25,91 Mpa (7,11% mayor)	16,47%
Viga3 armada 9kg	29,13 Mpa (20,42% mayor)	18,99%
Viga 4 armada 12,4kg	30,57 Mpa (26,37% mayor)	43,71%
Incremento por Kg/m3	0,44 Mpa (1,84%)	2,76%

- Las fibras mejoran el límite de rotura de las vigas incrementando la tensión.
- Las fibras aumentan la energía absorbida por la viga y su tenacidad
- Las fibras mejoran la resistencia residual post-rotura
- Las fibras controlan la micro y macro fisuración.

## Comparativo de vigas sin armado



Tenacidades de vigas			
	RESILIENCIA (N-mm)	POST ROTURA (N-mm)	TENACIDAD TOTAL FLEXIÓN (N-mm)
Viga 6 sin armado 0kg	585,77	537,11	1122,88
Viga 7 sin armado 24kg	857,14	7722,08	8579,22

En la gráfica comparativa se aprecia como con la incorporación de fibras logramos aumentar la tensión en el límite de rotura de la matriz y conseguimos una ductilidad mucho mayor que con la viga de matriz únicamente de hormigón. Según nuestro estudio logramos aumentar la tensión de rotura en un 15,47% y la tenacidad y deformación aumenta en más de seis veces la del hormigón convencional.

## **5.8 RESUMENES PROMOTOR DE ADHERENCIA**



**RESUMEN ENSAYOS PROMOTOR DE ADHERENCIA SÓLIDO Y LÍQUIDO 6,2 Kg FIBRA POLIMERICA T60**

6,2 Kg Fibras Polimerica T60	Sin Adherente		LÍQUIDO				SÓLIDO			
	Sin adh 6,2 Kg		6,2 Kg 1%		6,2 Kg 2%		6,2 Kg 1%		6,2 Kg 2%	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	35,00	35,46	36,32	37,68	39,38	38,81	36,32	37,68	51,938	51,278
fc cubica (MPa)	38,83	41,41	39,59	31,95	34,07	31,83	39,59	31,95	49,47	46,275
E <sub>C</sub> (MPa)	27247	27914	29130,05	29518,82	31042,13	31302,86	29130,05	29518,82	33740	34173
fc,flex (MPa)	4,60	4,90	4,24	4,45	4,58	4,26	5,89	5,63	5,642	5,69
fc,flex Matriz (MPa)	4,60	4,90	4,24	4,45	4,58	4,26	5,89	5,63	5,642	5,69
fc,CMOD 0,05 (MPa)	3,11	3,75	4,24	4,40	4,58	4,24	5,80	5,58	5,642	5
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,32	3,37	2,80	3,01	3,49	2,90	5,01	4,16	4,64	3,92
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	2,98	2,48	2,89	2,90	2,53	2,67	3,74	4,72	4,33	3,57
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,36	2,47	3,41	3,16	2,58	3,13	3,98	5,15	5,09	3,56
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,37	2,51	3,48	3,03	2,43	3,01	3,98	4,77	4,56	3,11
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	42323	34109	10551,94	10959,66	13179,00	30344,28	10551,94	10959,66	34563	43069

6,2 Kg Fibra T 60	SIN ADHERENTE		1% LIQ		2% LIQ		1% SO		2% SO	
ENERGÍA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	3.114	4.093	4.983	4.363	6.244	3.039	7.122	6.634	7.531	5.906
Ablandamiento (N-mm)	6.963	10.046	6.846	7.030	8.634	6.247	14.539	1.617	10.769	11.565
Endurecimiento (N-mm)	9.082	4.262	66	7.898	5.918	7.013	8.903	5.514	9.323	3.121
Post Rotura (N-mm)	13.270	9.388	3.180	14.914	20.311	23.155	18.127	23.479	10.487	14.079
Tenacidad Total flexión (N-mm)	32.429	27.790	26.138	34.206	41.108	39.455	48.693	46.245	38.111	34.672
Tenacidad a compresión (N-mm)	387.781	355.775	889.799	879.628	416.474	893.685	590.547	298.202	526.676	796.536

Dosificación		
Material	Ud.	6,2 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	6,2
Promotor 1%	Kg	3,25
Promotor 2%	Kg	6,5
Relación a/c		0,6



Ensayo Anillo Japonés



Ensayo escurrimiento



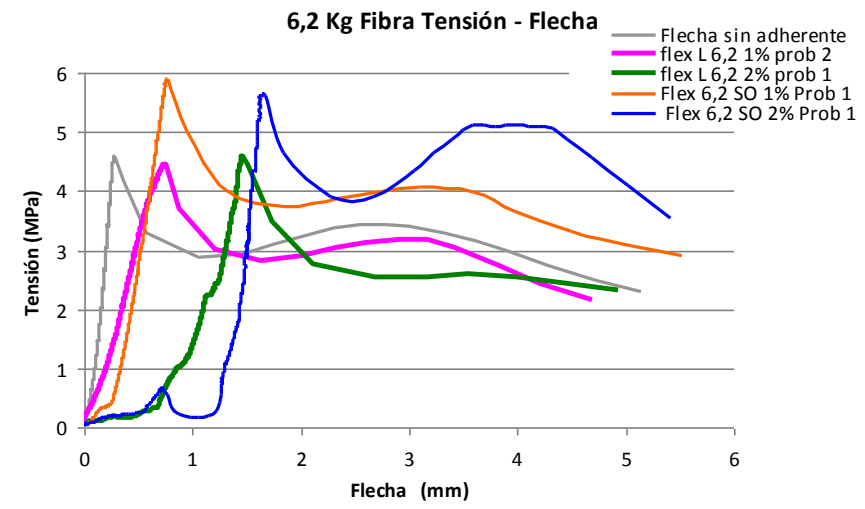
Ensayo de deformación



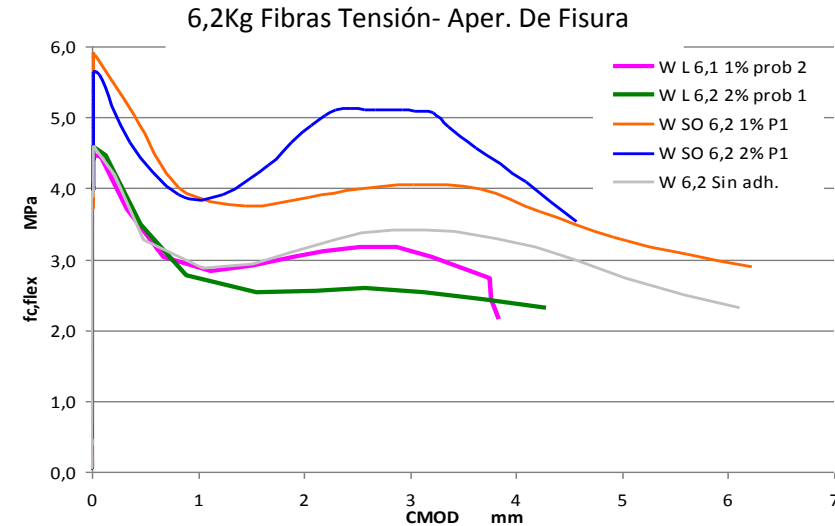
Ensayo compresión



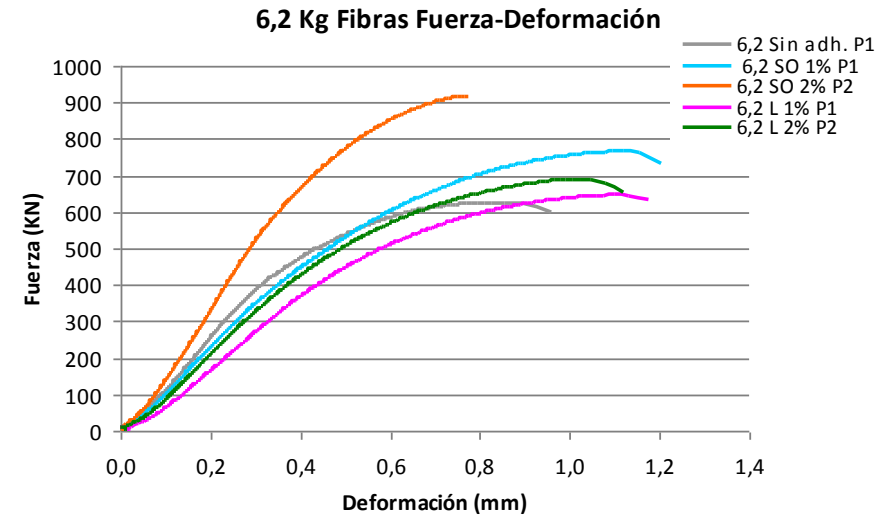
Ensayo flexión



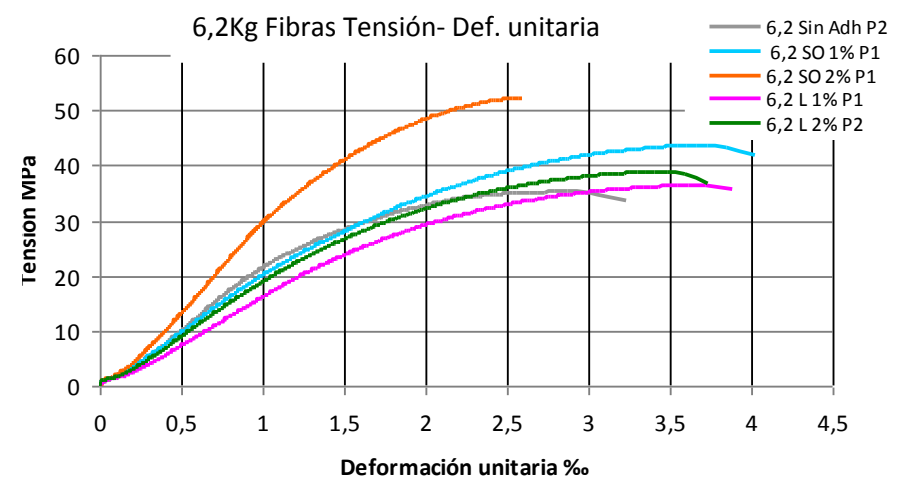
6,2 Fibras 1% liquido



6,2 Fibras 2% liquido



6,2 Fibras 1% Solido



6,2 Fibras 2% Solido

# RESUMEN ENSAYOS PROMOTOR DE ADHERENCIA SÓLIDO Y LÍQUIDO EN 9 Kg FIBRA POLIMERICA T60

9 Kg Fibras Polimerica T60	Sin Adherente		LIQUIDO				SÓLIDO			
	Sin adh 9 Kg		9 Kg 1%		9 Kg 2%		9 Kg 1%		9 Kg 2%	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	38,26	37,39	40,17	38,92	40,36	44,59	44,947	45,413	49,458	47,57
fc cubica (MPa)	42,24	41,67	36,66	42,42	38,74	38,36	45,27	46,3	45,81	46,5
E <sub>c</sub> (MPa)	29606	28972	30446,39	29722,58	29221,55	29884,35	30639	30146	31576	31102
fc,flex (MPa)	5,05	4,95	4,08	5,64	6,07	5,65	5,191	5,663	5,599	5,323
fc,flex Matriz (MPa)	5,05	4,95	4,08	4,75	4,91	4,78	5,19	5,66	5,56	5,32
fc,CMOD 0,05 (MPa)	5,01	4,95	*	4,75	4,91	4,76	5,16	5,66	5,54	5,29
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	4,00	3,71	*	3,85	3,84	3,85	4,03	4,47	4,22	3,71
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	3,49	3,03	*	4,93	4,96	4,93	3,37	3,73	5,1	2,95
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	3,91	3,71	*	5,62	5,70	5,62	3,63	4,096	5,43	2,45
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	3,32	3,46	*	5,52	5,98	5,52	3,22	4,05	5,56	2,2
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	25627	28944,12	26592,59	17272,72	17346,15	13562,50	35837	22531	36659	36417

9 Kg Fibra T 60	SIN ADHERENTE		1% LIQ		2% LIQ		1% SO		2% SO	
ENERGÍA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N-mm)	5.421	4.685	2.989	6.786	6.030	6.207	6.619	6.832	4.623	5.969
Ablandamiento (N-mm)	9.223	8.986	12.615	4.098	4.874	4.676	10.186	11.779	4.965	26.153
Endurecimiento (N-mm)	7.072	7.330	6.169	21.726	29.755	2.206	4.561	7.149	13.341	0
Post Rotura (N-mm)	8.939	12.828	12.666	3.427	1.573	3.093	2.366	20.934	41.039	0
Tenacidad Total flexión (N-mm)	30.656	33.832	34.441	36.038	42.234	36.038	23.734	46.696	63.970	32.123
Tenacidad a compresión (N-mm)	438.770	275.341	663.330	464.456	256.897	685.432	465.662	484.819	486.614	515.120

Dosificación		
Material	Ud.	9 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	9
Promotor 1%	Kg	3,25
Promotor 2%	Kg	6,5
Relación a/c		0,6



Ensayo Anillo Japonés



Ensayo escurrimiento con fibras



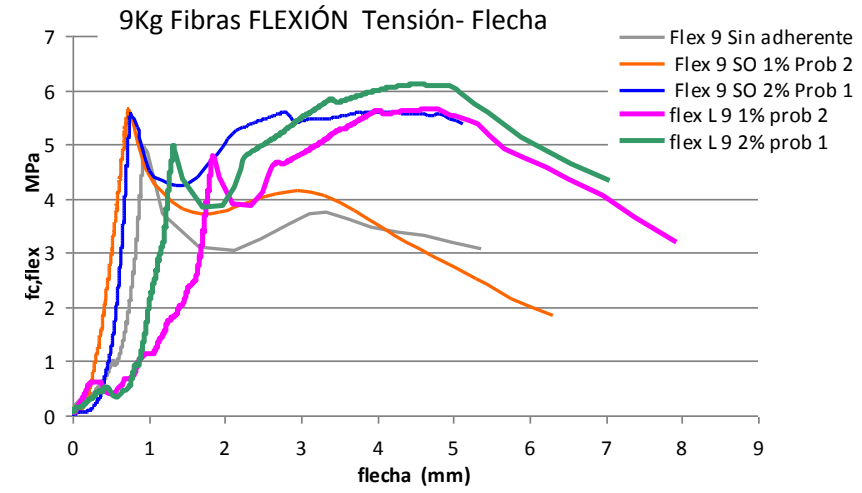
Ensayo de deformación



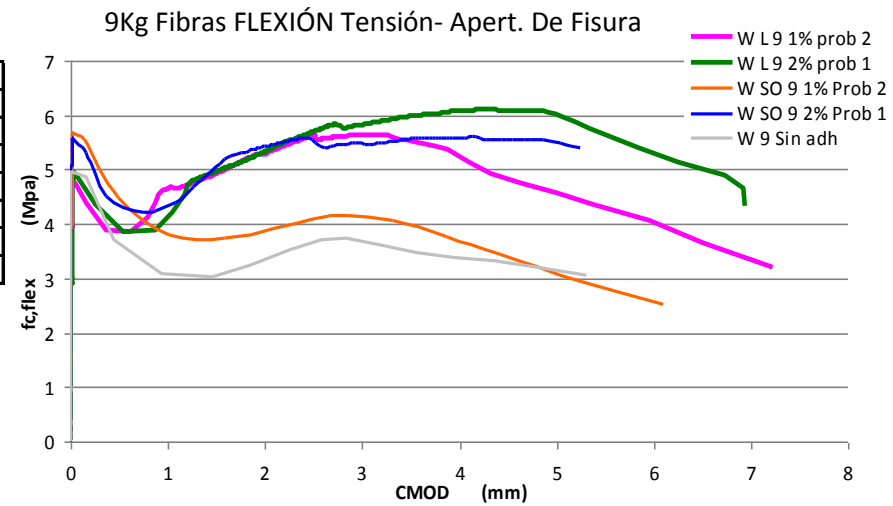
Ensayo compresión



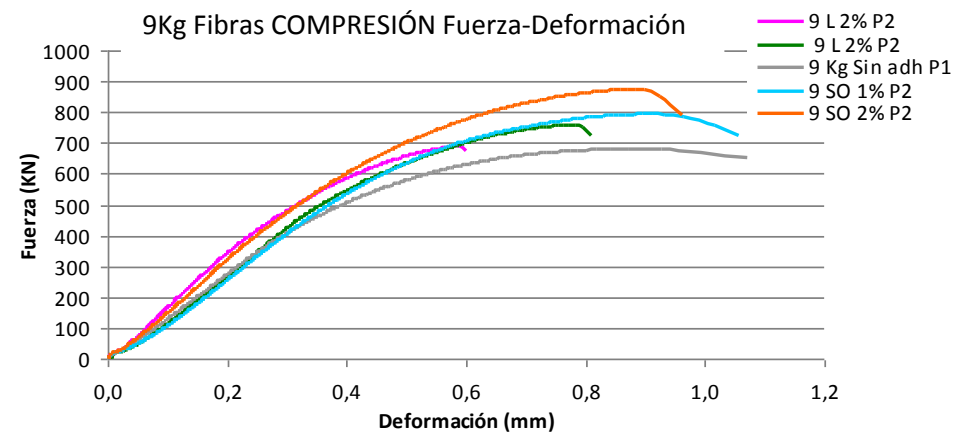
Ensayo flexión



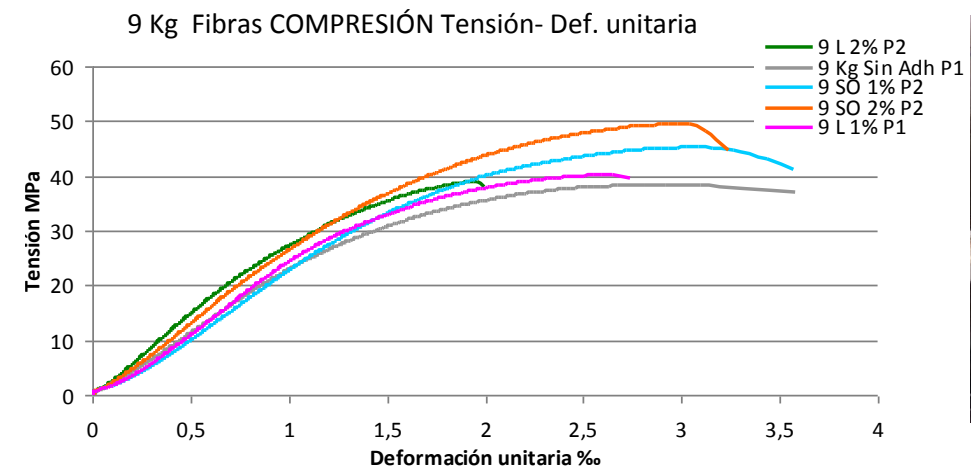
9 Fibras 1% liquido



9 Fibras 2% liquido



9 Fibras 1% Solido



9 Fibras 2% Solido



# RESUMEN ENSAYOS PROMOTOR DE ADHERENCIA SÓLIDO Y LÍQUIDO EN 12,4 Kg FIBRA POLIMERICA T60

12,4 Kg Fibras Polimerica T60	Sin Adherente		LIQUIDO				SÓLIDO			
	Sin adh 12,4 Kg		12,4 Kg 1%		12,4 Kg 2%		12,4 Kg 1%		12,4 Kg 2%	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
fc cilíndrica (MPa)	35,89	37,94	35,96	28,53	38,41	37,64	53,008	52,29	49,366	47,967
fc cubica (MPa)	43,97	42,20	37,29	39,93	43,01	38,55	51,66	46,79	48,95	45,265
E <sub>c</sub> (MPa)	27365	28406	28892,33	30998,97	29281,28	30294,37	34030	33731	31492	33947
fc,flex (MPa)	5,15	5,31	5,31	6,15	7,64	6,69	6,165	5,731	6,619	6,929
fc,flex Matriz (MPa)	4,93	4,02	5,12	5,18	5,51	5,02	5,65	5,73	4,84	5,96
fc,CMOD 0,05 (MPa)	3,51	3,91	*	5,06	43,10	8,90	5,59	5,72	4,8	5,96
fc,flex F1 CMOD 0,5 mm (MPa)	3,83	3,12	*	3,99	8,35	7,33	4,32	4,88	4	4,79
fc,flex F2 CMOD 1,5mm (MPa)	4,74	4,28	*	5,13	11,33	9,60	5,36	3,15	5,27	6,07
fc,flex F3 CMOD 2,5 mm (MPa)	5,00	5,05	*	5,89	13,57	11,22	5,86	3,05	6,19	6,78
fc,flex F4 CMOD 3,5 mm (MPa)	5,15	5,31	*	6,17	13,75	11,63	6,16	2,55	6,59	6,91
E <sub>FLEX</sub> (MPa)	35298,8	21399,86	2399,46	30333,33	27472,22	27146,66	46434	39203	23595	35703

12,4 Kg Fibra T 60	SIN ADHERENTE		1% LIQ		2% LIQ		1% SO		2% SO	
ENERGIA ABSORBIDA	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Resiliencia (N·mm)	3.993	3.777	15.763	4.443	6.493	4.494	5.556	5.898	4.517	6.195
Ablandamiento (N·mm)	5.740	3.359	1.698	5.890	4.659	5.056	6.534	28.462	4.465	7.470
Endurecimiento (N·mm)	20.002	25.431	14.003	21.468	24.459	24.216	22.010	0	27.295	28.648
Post Rotura (N·mm)	16.594	11.424	9.292	13.050	23.892	5.565	19.734	0	13.392	18.144
Tenacidad Total flexión (N·mm)	46.331	43.994	40.757	44.852	59.504	39.333	53.835	34.360	49.671	60.459
Tenacidad a compresión (N·mm)	504.980	429.936	994.953	375.927	549.980	456.691	499.996	537.718	478.056	432.788

Dosificación		
Material	Ud.	12,4 Kg Fibras
Cemento	Kg	325
Agua	L	195
Finos	Kg	18,5
Arena 0/2	Kg	517
Arena 0/4	Kg	757
Grava 4/12,5	Kg	553,9
Ad. Superpl. 1,3%	Kg	4,225
Fibras T60	Kg	12,4
Promotor 1%	Kg	3,25
Promotor 2%	Kg	6,5
Relación a/c		0,6



Ensayo Anillo Japonés



Ensayo escurrimiento con fibras



Ensayo de deformación

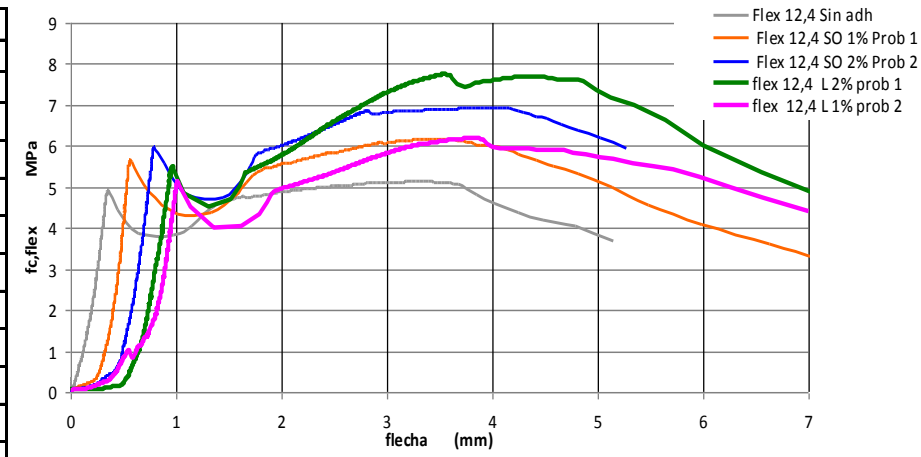


Ensayo compresión



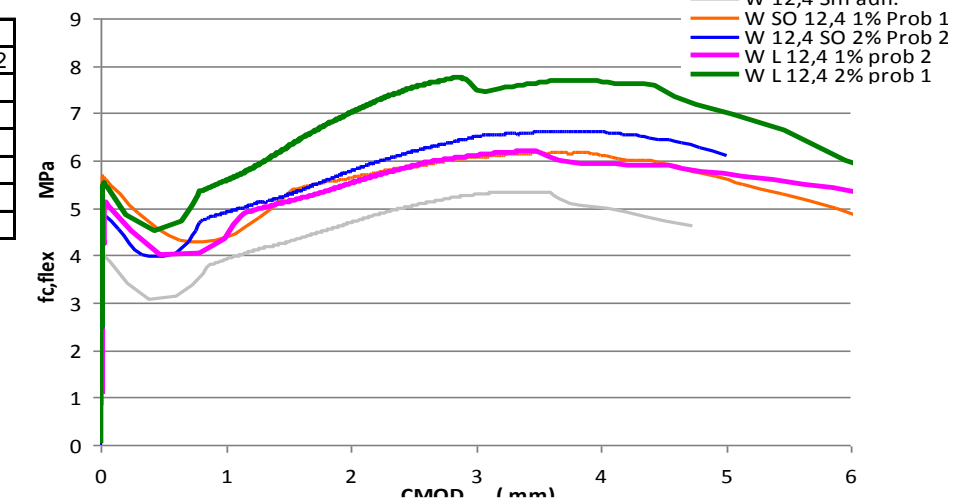
Ensayo flexión

## 12,4Kg Fibras FLEXIÓN Tensión- Flecha



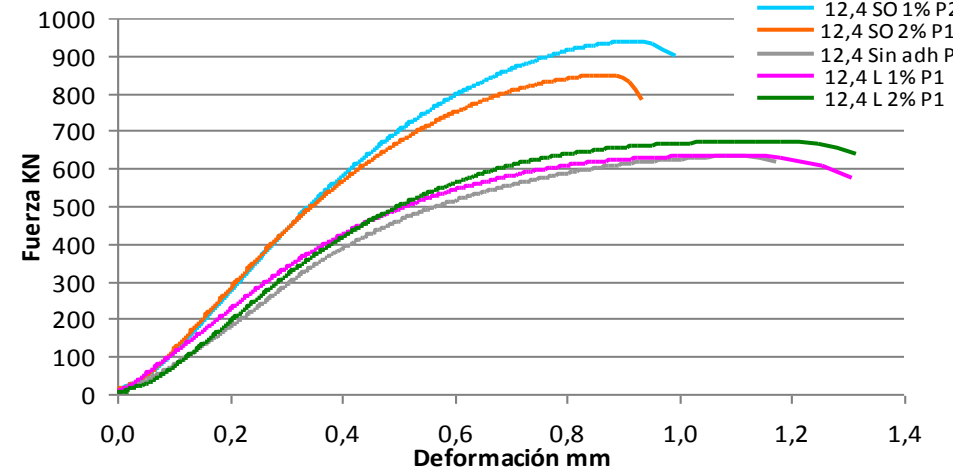
12,4 Fibras 1% liquido

## 12,4Kg Fibras FLEXIÓN Tensión- Apert. De Fisura



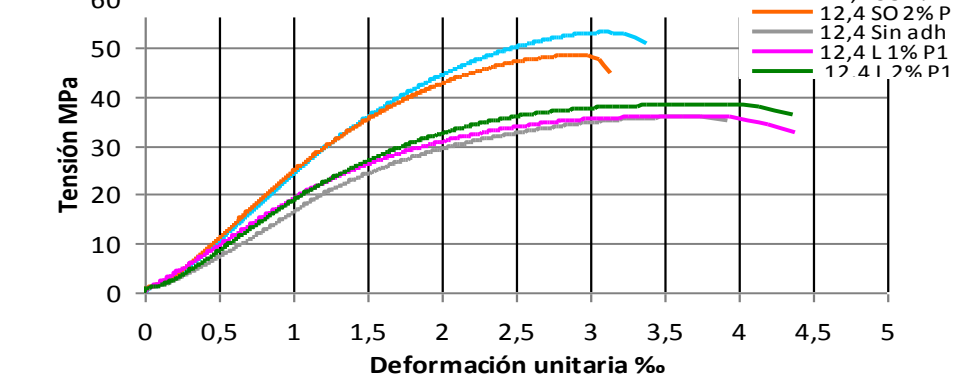
12,4 Fibras 2% liquido

## 12,4Kg Fibras COMPRESIÓN Fuerza-Deformación



12,4 Fibras 1% Solido

## 12,4 Kg Fibras COMP. Tensión- Def. unitaria



12,4 Fibras 2% Solido



## 6. CONCLUSIONES



En este proyecto hemos abarcado dos fases de estudio, una primera en la que hemos realizado unas vigas de HAC aligeradas con alveolos a las que en la dosificación hemos usado diferentes cantidades de fibras poliméricas. De esta forma analizamos como evolucionan las características mecánicas del material al variar el contenido en fibras poliméricas.

En la segunda fase de estudio hemos realizado amasadas de 20 litros de HAC con distintas cantidades de fibras poliméricas y aditivo adherente. En esta fase queremos comprobar los efectos que produce el aditivo adherente en la interfase matriz-fibra y verificar las mejoras en sus capacidades mecánicas y estudiar los efectos en las propiedades reológicas en estado fresco.

Vamos a especificar las conclusiones obtenidas de cada una de las fases:

### **6.1 Fase de vigas**

Las fibras mejoran el comportamiento mecánico de las vigas esto se debe a que las fibras logran controlar la fisuración tanto la microfisuración como la macrofisuración.

Las fibras aumentan la tensión de rotura de la matriz a flexotracción haciendo más resistente a la viga antes de su fisuración y de que llegue a la rotura. La tensión de rotura se logra aumentar en torno a un 1% o 2% por cada kilogramo por metro cúbico.

Las fibras aumentan notablemente la energía residual del hormigón logrando que la tenacidad a flexotracción aumente y que el hormigón sea más dúctil. Esta característica puede ser importante en estructuras donde haya especial riesgo de sismo, o donde se desee que la estructura nos “avise” de su rotura a la hora de evacuar ante un peligro estructural por ejemplo. Las fibras aumentan la tenacidad entre un 3% y un 4% por cada kilogramo de fibra por metro cúbico.

Las fibras empeoran notablemente la trabajabilidad de la mezcla tanto a la hora del amasado como en el momento de poner en obra. Hay que tener especial cuidado en la formación de erizos y en la distribución de fibras dentro de la viga o el elemento a hormigonar.

## **6.2 Fase de promotor de adherencia.**

\*En estado fresco:

El promotor de adherencia líquido disminuía la trabajabilidad de la mezcla reduciendo las mediciones en los ensayos de escurrimiento.

El promotor de adherencia sólido aumenta la exudación de la mezcla debiendo controlar mejor la relación agua/cemento y la cantidad del aditivo superfluidificante.

\*En estado endurecido:

El aditivo adherente logra aumentar la resistencia a flexión del hormigón en un porcentaje que situamos entre un 20% y un 30% si realizamos la comparativa con otro hormigón con fibras sin aditivo. Estos porcentajes dependen de la cantidad de fibras con las que estemos trabajando en la dosificación y del porcentaje de adherente.

El aditivo adherente aumenta la tenacidad a flexotracción del hormigón y su resistencia residual haciendo que el hormigón mejore mecánicamente. La tenacidad aumenta entre un 25% y un 40% dependiendo de la cantidad de fibras de la dosificación y el porcentaje de adherente.

En cantidades bajas en torno a 6,2kg de fibras el aditivo sólido funciona mejor que el aditivo adherente líquido. En cantidades más altas por ejemplo superiores a 9kg de fibras los aditivos se asemejan bastante.

A mayor porcentaje de adherente se mejoran las características mecánicas pero en este estudio no hemos podido determinar si hay una cantidad límite de eficacia.

La tensión de la rotura de la matriz se ve incrementada pero las mejorías de estos aditivos se reflejan principalmente en la fase de endurecimiento y la resistencia residual.

El aditivo adherente después de los resultados de los ensayos se puede concluir que mejora la interfase matriz-fibra aumentando las capacidades mecánicas a flexotracción y mejorando el conjunto.

El aditivo adherente mejora levemente la resistencia a compresión. Si comparamos los dos aditivos en este aspecto funciona mejor el adherente sólido.

La distribución de las fibras es fundamental por lo que tenemos que prestar especial cuidado en el hormigonado del elemento. Una incorrecta distribución puede hacer que decaigan los beneficios de las fibras en algunas zonas y tener un elemento demasiado heterogéneo.

## 7. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN





## **Futuras líneas de investigación**

La adición de fibras en el hormigón es una ciencia todavía novedosa que tiene un campo de investigación muy amplio. Pese a que ya se está investigando durante algunas décadas el hormigón con fibras no es todavía un material muy extendido en la edificación. Quedan todavía muchos campos por investigar de este material y profundizar en la familiaridad del hormigón autocompactante con fibras en el mercado actual.

A día de hoy el hormigón con fibras es usado mayoritariamente en algunos elementos superficiales como soleras para retener las retracciones, pero todavía en muy pocos proyectos en nuestro país se ha usado como elemento estructural.

Después de haber profundizado en este campo nos hemos dado cuenta que se pueden abarcar otros estudios y estos son solo algunos ejemplos:

- Combinar diferentes tipos de fibras de distintos materiales y ver como pueden interaccionar entre ellas y el hormigón. Por ejemplo mezclar fibras poliméricas y metálicas.
- Estudiar como funciona la adicción de fibras en hormigones autocompactantes para elementos singulares estructurales de edificación.
- Optimizar los aditivos de adherencia lo máximo posible, comprobando cual es la cantidad máxima en la que puede ser eficaz.
- Comprobar los efectos producidos en el amasado y puesta en obra de el uso de fibras con aditivo adherente, es decir, estudiar la robustez del hormigón autocompactante con el adherente, tiempos abierto y tiempo de uso, etc.
- Estudiar la adicción de fibras poliméricas para el uso estructural optimizado, cantidades mínimas y máximas.
- Estudiar el comportamiento microscópico del aditivo adherente para verificar mejor algunas de las propiedades que incorpora en la unión e interfase de la fibra con la matriz y estudiar mejor su comportamiento.
- Comprobar que la resistencia al fuego y reducción del spalling se mantiene o mejora cuando usamos un aditivo adherente.

## *8. BIBLIOGRAFÍA*



## **Bibliografía**

Instrucción de hormigón estructural EHE 2008. Ministerio de Fomento España.

Norma ACI 544.2R

Hormigón con fibras (F. Cánovas, ACHE, 2000)

RC-08 Instrucción para la recepción de cementos. Ministerio de Fomento España.

UNE 14651 2007 ensayo flexotracción hormigón fibras metálicas

UNE 83510 2004 Determinación de la tenacidad y del índice de rotura de la primera fisura

Albiol Ibáñez José Ramón, García Ballester Luís Vicente: Trabajos de investigación.

F.ALTON; T.HAKTANIR : Investigación comparativa de vigas de hormigón reforzado. Turquía 13/04/2004.

P.CARBALLOSA DE MIGUEL; A. PALACIOS ÁLVAREZ; J.P. GUTIÉRREZ JIMÉNEZ; P.TANNER : Diseño optimizado de un hormigón autocompactante reforzado con fibra de polipropileno con función estructural, para el empleo en obras de rehabilitación. Intramural 201060E118

P.CARBALLOSA DE MIGUEL; A. PALACIOS ÁLVAREZ; J.P. GUTIÉRREZ JIMÉNEZ: Diseño optimizado de un hormigón autocompactante reforzado con fibra de polipropileno con función estructural, para el empleo en obras de rehabilitación. Intramural 201060E118

D. DAVID MARTÍNEZ PONCE: hormigones de altas prestaciones. Universidad Politécnica de Cartagena. E.U. Ingeniería técnica civil.

BRYAN BARRAGAN, M. CRUZ ALONSO; C. RODRIGUEZ; M. SANCHEZ: Respuesta al fuego del HAC con y sin refuerzo de fibras. Centro de Investigación en Seguridad y Durabilidad Estructural y Materiales (CISDEM) Madrid España.

H. MONETTI DIEGO; C. TORRIJOS MARÍA; M. GIACCIO GRACIELA; L. ZERBINO RAÚL: Respuesta postfisuración de hormigones reforzados con fibras. Facultad de Ingeniería UNLP.

C. BARRIS PEÑA : Serviceability behaviour of fiber reinforced polymer concrete beams.

## **9. ANEXOS**



# *ANEXO 1. ESTUDIO GRANULOMETRICO ÁRIDOS*







## Grava

Tamiz (g)	R (g) Retenido (g)	RA (g) Retenido acumulado (g)	R % % Retenido en el tamiz	RA % % Retenido acumulado	P % % Pasa
63	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
32,5	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
20	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
16	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
14	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
12,5	51,17	51,17	2,69%	2,69%	97,31%
10	616,5	667,67	32,45%	35,15%	64,85%
8	723,01	1390,68	38,06%	73,21%	26,79%
6,5	280	1670,68	14,74%	87,95%	12,05%
4	222,96	1893,64	11,74%	99,69%	0,31%
2	5,95	1899,59	0,31%	100,00%	0,00%
1	0	1899,59	0,00%	100,00%	0,00%
0,5	0	1899,59	0,00%	100,00%	0,00%
0,25	0	1899,59	0,00%	100,00%	0,00%
0,125	0	1899,59	0,00%	100,00%	0,00%
0,063	0	1899,59	0,00%	100,00%	0,00%
Pasa	0	1899,59	0,00%	100,00%	0,00%

Muestra desecada (g) **1899,59**Mg **6,73**T max **12,5 mm**

Curva de bolomey

Valor de a = 22			Valores de a	
Tamiz (g)	% Pasa	% Retenido acumulado		
63	100,00%	0,00	Rodado	Seco-plástico 10
32,5	100,00%	0,00		Blanda 11
20	100,00%	0,00		Fluida 12
16	100,00%	0,00	Machaqueo	Seco-plástico 12
14	100,00%	0,00		Blanda 13
12,5	100,00%	0,00		Fluida 14
10	91,77%	8,23		
8	84,40%	15,60		
6,5	78,25%	21,75		
4	66,12%	33,88		
2	53,20%	46,80		
1	44,06%	55,94		
0,5	37,60%	62,40		
0,25	33,03%	66,97		
0,125	29,80%	70,20		
0,063	27,54%	72,46		
Pasa	0,00	100,00		

Mb3 **3,52**

Jara Soriano Joaquín

Royo Sánchez, Fco Javier



## Arena 0/4

Tamiz (g)	R (g) Retenido (g)	RA (g) Retenido acumulado (g)	R % % Retenido en el tamiz	RA % % Retenido acumulado	P % % Pasa
63	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
32,5	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
20	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
16	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
14	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
12,5	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
10	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
8	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
6,5	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
4	19,44	19,44	6,93%	6,93%	93,07%
2	79,78	99,22	28,44%	35,37%	64,63%
1	51,26	150,48	18,27%	53,65%	46,35%
0,5	29,25	179,73	10,43%	64,07%	35,93%
0,25	23,61	203,34	8,42%	72,49%	27,51%
0,125	21,74	225,08	7,75%	80,24%	19,76%
0,063	22,12	247,2	7,89%	88,13%	11,87%
Pasa	33,3	280,5	11,87%	100,00%	0,00%

Muestra desecada (g) **280,5**Mg **3,13**T max **4 mm**

Valor de a = 22		
Tamiz (g)	% Pasa	% Retenido acumulado
63	100,00%	0,00
32,5	100,00%	0,00
20	100,00%	0,00
16	100,00%	0,00
14	100,00%	0,00
12,5	100,00%	0,00
10	100,00%	0,00
8	100,00%	0,00
6,5	100,00%	0,00
4	100,00%	0,00
2	77,15%	22,85
1	61,00%	39,00
0,5	49,58%	50,42
0,25	41,50%	58,50
0,125	35,79%	64,21
0,063	31,79%	68,21
Pasa	0,00	100,00

Valores de a		
Rodado	Seco-plástico	10
	Blanda	11
	Fluida	12
Machaqueo	Seco-plástico	12
	Blanda	13
	Fluida	14

Mb **2,35**

## Arenas 0/2

Tamiz (g)	R (g) Retenido (g)	RA (g) Retenido acumulado (g)	R % % Retenido en el tamiz	RA % % Retenido acumulado	P % % Pasa
63	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
32,5	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
20	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
16	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
14	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
12,5	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
10	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
8	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
6,5	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
4	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
2	3,25	3,25	1,12%	1,12%	98,88%
1	90,62	93,87	31,21%	32,33%	67,67%
0,5	58,36	152,23	20,10%	52,43%	47,57%
0,25	36,51	188,74	12,57%	65,01%	34,99%
0,125	24,83	213,57	8,55%	73,56%	26,44%
0,063	21	234,57	7,23%	80,79%	19,21%
Pasa	55,77	290,34	19,21%	100,00%	0,00%

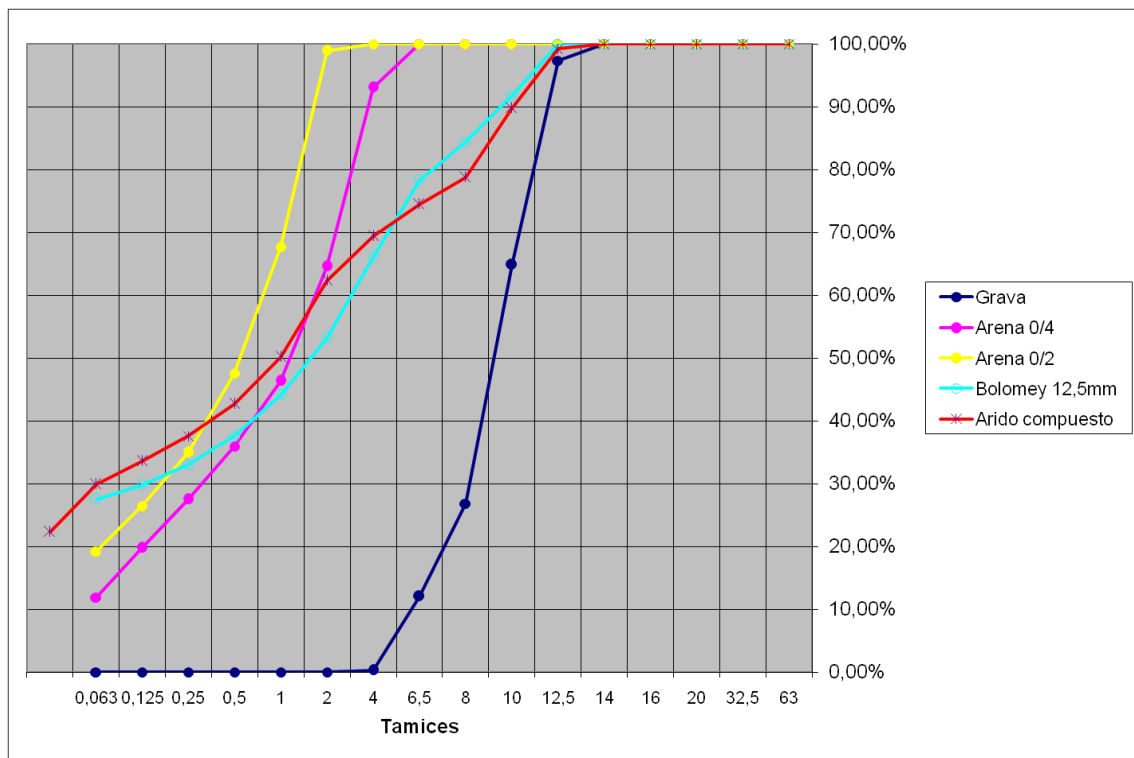
Muestra desecada (g) **290,34**Mg **2,24**T max **2 mm**

Valor de a = 22		
Tamiz (g)	% Pasa	% Retenido acumulado
63	100,00%	0,00
32,5	100,00%	0,00
20	100,00%	0,00
16	100,00%	0,00
14	100,00%	0,00
12,5	100,00%	0,00
10	100,00%	0,00
8	100,00%	0,00
6,5	100,00%	0,00
4	100,00%	0,00
2	100,00%	0,00
1	77,15%	22,85
0,5	61,00%	39,00
0,25	49,58%	50,42
0,125	41,50%	58,50
0,063	35,84%	64,16
Pasa	0,00	100,00

Valores de a		
Rodado	Seco-plástico	10
	Blanda	11
	Fluida	12
Machaqueo	Seco-plástico	12
	Blanda	13
	Fluida	14

Mb **1,71**

Ajuste granulométrico de todos los áridos (% pasa)					
Tamiz (g)	Grava	Arena 0/4	Arena 0/2	CEM	Arido compuesto
63	29,03%	23,74%	24,90%	22,33%	100,00%
32,5	29,03%	23,74%	24,90%	22,33%	100,00%
20	29,03%	23,74%	24,90%	22,33%	100,00%
16	29,03%	23,74%	24,90%	22,33%	100,00%
14	29,03%	23,74%	24,90%	22,33%	100,00%
12,5	28,25%	23,74%	24,90%	22,33%	99,22%
10	18,83%	23,74%	24,90%	22,33%	89,80%
8	7,78%	23,74%	24,90%	22,33%	78,75%
6,5	3,50%	23,74%	24,90%	22,33%	74,47%
4	0,09%	22,09%	24,90%	22,33%	69,42%
2	0,00%	15,34%	24,62%	22,33%	62,29%
1	0,00%	11,00%	16,85%	22,33%	50,18%
0,5	0,00%	8,53%	11,84%	22,33%	42,70%
0,25	0,00%	6,53%	8,71%	22,33%	37,57%
0,125	0,00%	4,69%	6,58%	22,33%	33,60%
0,063	0,00%	2,82%	4,78%	22,33%	29,93%
Pasa	0,00%	0,00%	0,00%	22,33%	22,33%



## *ANEXO 2. FICHAS TECNICAS MATERIALES*



## FIBRAS T60

## Construcción

**Sikafiber® T-60**

Macro - fibras sintéticas con carácter estructural para el refuerzo de hormigones.

<b>Descripción del Producto</b>	Es una macro-fibra de poliolefinas diseñada para ser mezclada con hormigones proyectados con el fin de aumentar su durabilidad, evitar la fisuración y aportar las resistencias estructurales especificadas.
<b>Usos</b>	<p>Se utilizan añadiéndose al hormigón proyectado, para mejorar las características siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Resistencia a la fisuración.</li> <li>■ Resistencia al impacto.</li> <li>■ Resistencia a flexotracción.</li> <li>■ Resistencia a la abrasión.</li> <li>■ Resistencia frente ataques químicos.</li> <li>■ Incrementan la capacidad de absorción de energía.</li> </ul> <p>Su uso está especialmente indicado en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reparaciones parciales con hormigón proyectado.</li> <li>■ Realización de sostenimiento en túneles.</li> <li>■ Colaboración en el hormigón proyectado evitando la fisuración por retracción y mejorando su resistencia pasiva frente al fuego.</li> <li>■ En general, para hormigones proyectados en los que se busca aumentar las resistencias a tracción, al impacto y la capacidad de absorción de energía.</li> </ul> <p>Sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del hormigón proyectado</p>
<b>Características/Ventajas</b>	<p>La adición en la masa de hormigón o mortero de estas fibras aporta las ventajas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Incrementan la absorción de energía y la resistencia a tracción, aportando resistencias residuales a flexo-tracción superiores a las mínimas exigidas por la EHE-08. Por ello se consideran fibras estructurales.</li> <li>■ No le afectan los procesos de corrosión y oxidación a diferencia de los hormigones que se refuerzan con fibras metálicas.</li> <li>■ Óptima adherencia fibra-hormigón debido a los tratamientos físico-químicos recibidos en su fabricación</li> <li>■ Asegura la distribución homogénea y uniforme de las tensiones en la masa de hormigón, evitando la formación de fisuras provocadas por la retracción durante el fraguado.</li> <li>■ Mejoran la resistencia al impacto y a la abrasión.</li> <li>■ Debido a la reducción de la fisuración que generan, aumenta la impermeabilidad.</li> <li>■ Reduce el riesgo de disgregación de la masa.</li> <li>■ Perfecta dispersión en la masa del hormigón.</li> <li>■ Mejoran considerablemente la resistencia pasiva al fuego, reduciendo el fenómeno de "spalling"</li> </ul>



## Ensayos

Certificados/Normativa Cumple con las especificaciones de la Norma UNE-EN 14889-2: 2008.

## Datos del Producto

### Forma

Presentación Bolsas de 4 kg, 10 KG Y BigBag

### Almacenamiento

Condiciones de Almacenamiento/ Conservación En lugar seco y fresco. Conservación ilimitada

### Datos Técnicos

Composición química 100% poliolefinas

Densidad (20°C) Aprox. 0,92 g/cm<sup>3</sup>

Absorción de agua Nula

Color Negro

Diámetro equivalente 0,92 mm aprox.

Longitud de fibra/esbeltez:

	Sikafiber T- 60
Longitud	60 mm
Esbeltez	65 mm

Frecuencia de la fibra (longitudes de 48 mm): 27.778 ud / kg.

Proceso de transformación Extrusión

Sistema Monofilamento plano y grabado

Resistencia a la tensión 560 MPa ASTM D-638

Temperatura de distorsión: 110 °C ASTM D-648

Temperatura de descomposición:	280 °C según método	ASTM D-648
Elongación según el método ASTM D-638:	4 %	ASTM D-638
Módulo de Elasticidad	20,5 GPa.	ASTM D-790
Fluidez	1,8 a 3,2 gramos/minuto	ASTM D-1238
Adherencia	Adherencia óptima debido a los tratamientos químicos superficiales que mejoran el anclaje fibra/matriz cementante.	
Comportamiento químico	Estabilidad frente a cualquier ataque o proceso químico	
Peso ( 1 fibra)	0.036 gr	
<b>Información del sistema</b>		
<b>Detalles de aplicación</b>		
Consumo /Dosificación	<p>Dosificación recomendada: De 3 a 10 kg/ m<sup>3</sup>, pudiéndose aumentar la dosificación en función de los requerimientos especificados .</p> <p>Igualando la absorción de energía, las fibras metálicas se dosifican de 4 a 8 veces más, en función del tipo de fibra empleada y de la adherencia a la gunita prescrita. El ajuste de dosificaciones se realizará en función de los requerimientos especificados en proyecto. Para una mejor optimización del producto se recomiendan realizar ensayos previos.</p>	
Instrucciones de aplicación	<p>Añadir la cantidad de fibra directamente a la hormigonera en cualquier momento del mezclado o al final del mismo. Nunca verter directamente sobre el agua de amasado antes de ser añadida al resto de componentes del hormigón. Una vez añadido el Sika Fiber T, prolongar el amasado durante al menos 5 minutos.</p>	
Notas de Aplicación/ Limitaciones	<p>No reduce la trabajabilidad del hormigón proyectado, aunque por observación visual puede parecerlo. No evita las grietas derivadas de un mal dimensionamiento. No sustituye las labores convencionales de curado de las masas de hormigón. Es compatible con cualquier otro aditivo de SIKA®.</p> <p>Para cualquier aclaración rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico.</p>	
Notas	<p>Todos los datos técnicos de esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias que escapan de nuestro control</p>	
<b>Instrucciones de Seguridad e Higiene</b>	<p>Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad e higiene en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del producto, que contiene los datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.</p>	





**Notas Legales**

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo con el uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Producto local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página "www.sika.es".

## Adivo Superfluidificante ViscoCrete 3425

Construcción

**Hoja de Datos de Producto**

Edición 06/10/2008  
 Identificación nº 2.1.10  
 Versión nº 1  
 Sika ViscoCrete®-3425

**Sika ViscoCrete®-3425**

Superplastificante de alto rendimiento



<b>Descripción del Producto</b>	El Sika ViscoCrete®-3425 es un superplastificante de altas prestaciones para hormigones.
<b>Usos</b>	<p>El Sika ViscoCrete®-3425 se utiliza para la confección de hormigones con gran necesidad de reducción de agua y de excelente fluidez.</p> <p><i>El Sika ViscoCrete® -3425 se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hormigón prefabricado.</li> <li>■ Hormigón autocompactante.</li> </ul>
<b>Características/Ventajas</b>	<p>El Sika ViscoCrete®-3425 es un poderoso superplastificante que combina diferentes mecanismos de actuación.</p> <p>Debido a la adsorción superficial y el efecto esteárico, que separan las partículas, se consiguen las siguientes propiedades :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reducción muy importante de agua de amasado dando hormigones de alta densidad, altas resistencias y gran impermeabilidad.</li> <li>■ Excelente plasticidad, mejorando la fluidez, la colocación y la compactación.</li> <li>■ Bajo coste de energía en elementos prefabricados curados al vapor.</li> <li>■ Especialmente indicado para la preparación de hormigón autocompactable.</li> <li>■ Disminuye la retracción</li> </ul> <p>No contiene cloruros ni sustancias que puedan provocar o favorecer la corrosión del acero y por lo tanto pueden utilizarse sin restricciones en hormigones armados o pretensados.</p>
<b>Ensayos</b>	
<b>Certificados/Normas</b>	Cumple las especificaciones de la norma UNE-EN 934-2. Tablas 11.1 y 11.2: retardador / reductor / superplastificante
<b>Datos del Producto</b>	
<b>Forma</b>	
<b>Apariencia/Color</b>	Líquido incoloro
<b>Presentación</b>	Contenedores de m <sup>3</sup> y bajo pedido puede suministrarse a granel



<b>Almacenamiento</b>	
<b>Condiciones de Almacenamiento/Conservación</b>	12 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados entre + 5° C y +35°C. Proteger de la acción directa de la luz solar y de las heladas.
<b>Datos Técnicos</b>	
<b>Composición química</b>	Policarboxilato modificado en base acuosa
<b>Densidad</b>	1.05 kg/l ± 0.01
<b>Valor de pH</b>	4 ± 1.
<b>Contenido en Cloruros</b>	Libre de cloruros (EN 934-2)
<b>Efecto del fraguado</b>	No retardante
<b>Efecto de sobredosificación</b>	Puede producir exudación
<b>Información del Sistema</b>	
<b>Detalles de Aplicación</b>	
<b>Consumo/Dosificación</b>	Dosificación recomendada: Para media trabajabilidad: 0.2-0.8% del peso del cemento Para una alta trabajabilidad, con baja relación agua/cemento y para hormigón autocompactable: 1.0-1.5 % del peso del cemento.
<b>Condiciones de Aplicación/ Limitaciones</b>	
<b>Compatibilidad</b>	El Sika ViscoCrete®-3425 se combina con los siguientes productos Sika entre otros: -SikaPump® -Sika® Ferrogard® -901 -Sikafume® -SikaRapid® -Sika® Stabilizer® -229 -Sika® Retarder® Se recomienda hacer ensayos antes de combinar los productos.
<b>Instrucciones de Aplicación</b>	
<b>Incorporación al hormigón</b>	El Sika ViscoCrete®-3425 se añadirá al agua de amasado o a la mezcla de hormigón.
<b>Método de Aplicación/ Herramientas</b>	Se deben seguir las reglas de buena práctica del hormigonado en cuanto a producción y colocación. El hormigón debe curar adecuadamente.
<b>Notas de Aplicación/ Limitaciones</b>	<i>Hormigón autocompactable:</i> Para la realización de hormigones autocompactables con Sika ViscoCrete®-3425 se deben hacer diseños del hormigón específicos  <i>Heladas:</i> Si el Sika ViscoCrete®-3425 se helase, puede utilizarse sin que se vea disminuida ninguna de sus propiedades después de deshelarse lentamente a temperatura ambiente y agitado cuidadosamente.
<b>Notas</b>	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

# Construcción

## Instrucciones de Seguridad e Higiene

Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.

## Notas Legales

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página "www.sika.es".



### OFICINAS CENTRALES Y FABRICA

Madrid 28108 - Alcobendas  
P. I. Alcobendas  
Carretera de Fuencarral, 72  
Tels.: 916 57 23 75  
Fax: 916 62 19 38

### OFICINAS CENTRALES Y CENTRO LOGÍSTICO

Madrid 28108 - Alcobendas  
P. I. Alcobendas  
C/ Aragoneses, 17  
Tels.: 916 57 23 75  
Fax: 916 62 19 38

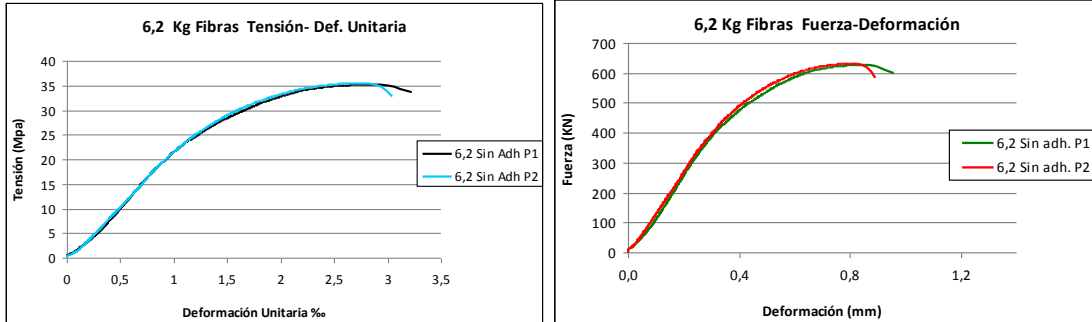


## *ANEXO 3. GRAFICAS RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN*

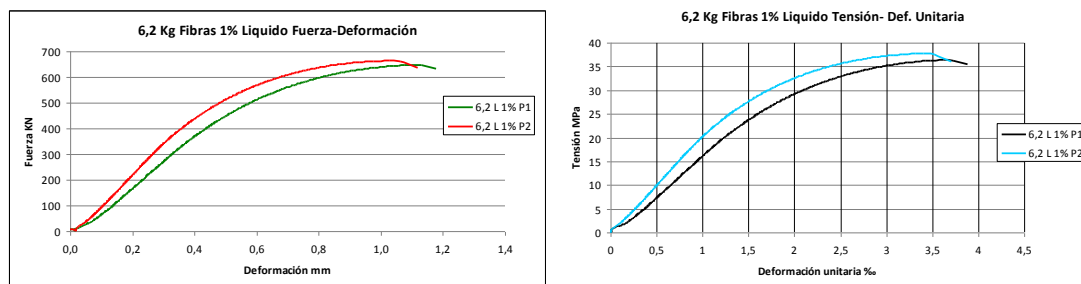


Ensayos a compresión (ordenador por Kg de fibra)

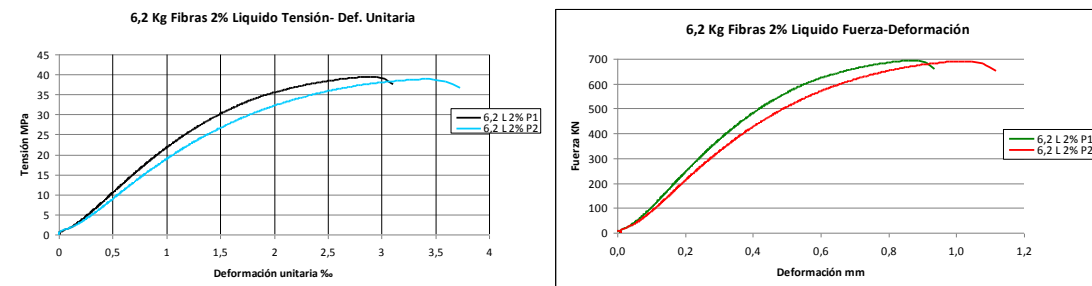
**Fibras 6,2 kg Sin adherente**



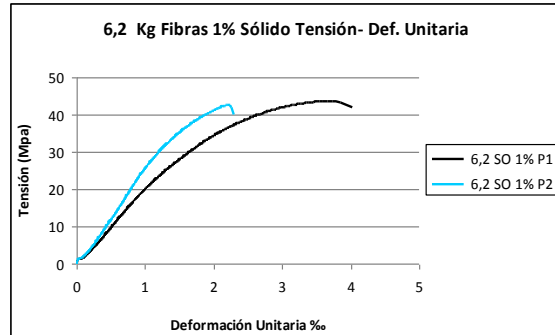
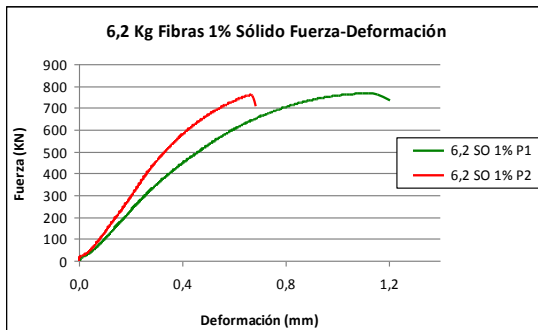
**Fibras 6,2 kg con 1% adherente liquido**



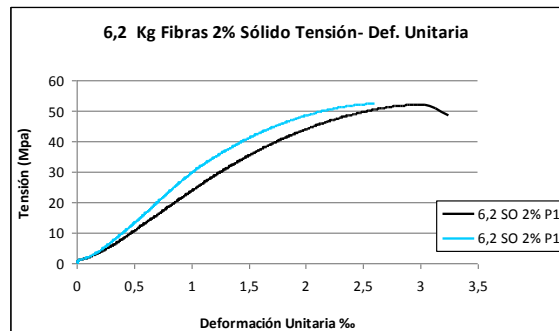
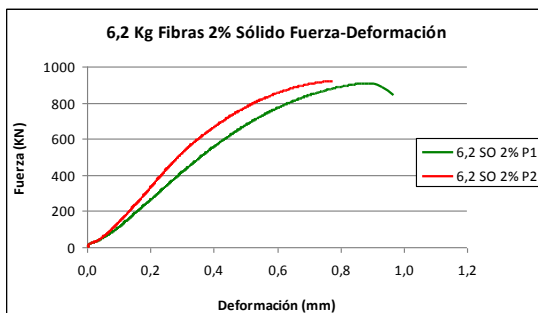
**Fibras 6,2 kg con 2% adherente liquido**



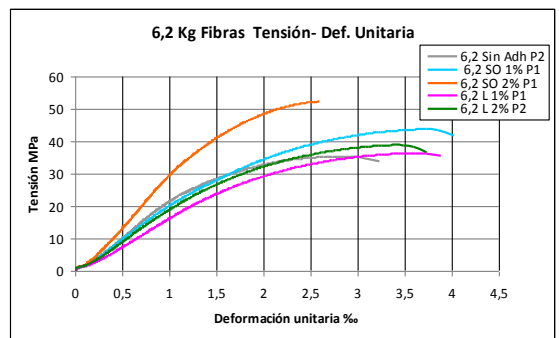
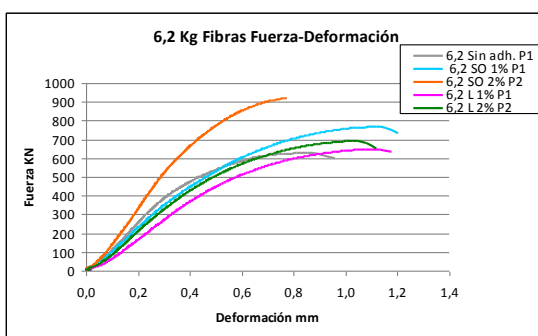
### Fibras 6,2 kg con 1% adherente sólido



### Fibras 6,2 kg con 2% adherente sólido

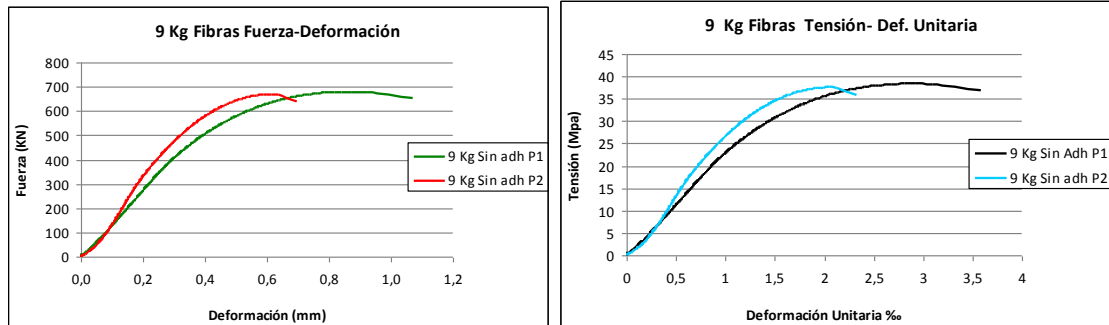


### Comparativa fibras 6,2 kg

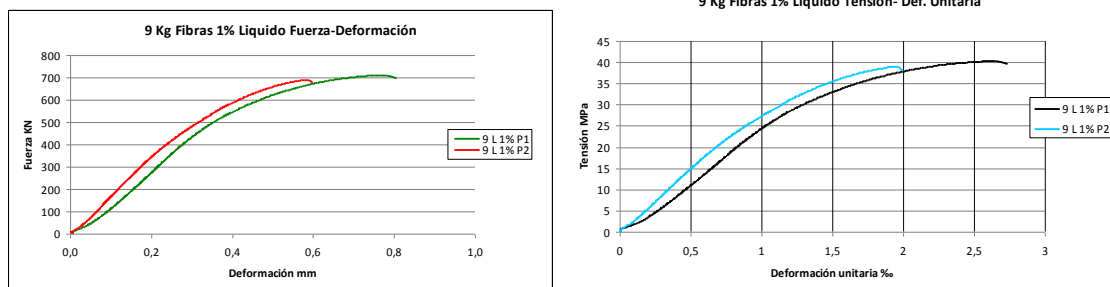




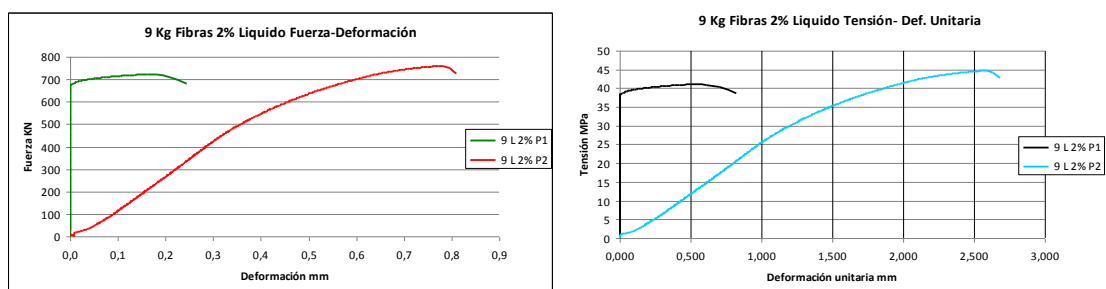
## Fibras 9 kg con sin adherente



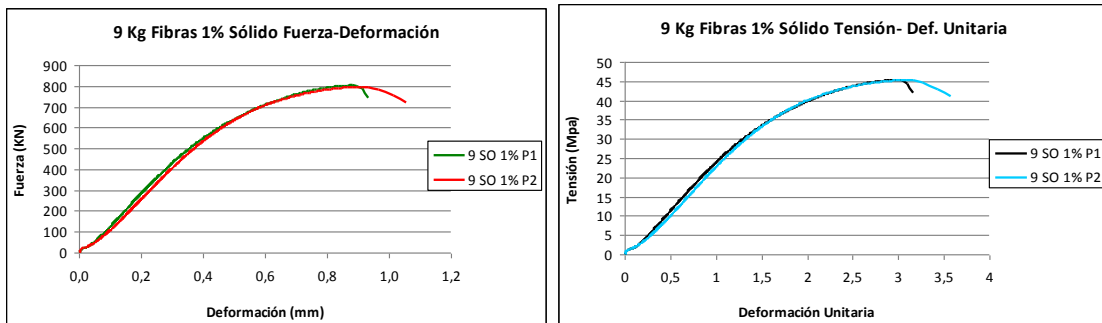
## Fibras 9 kg con con 1% adherente líquido



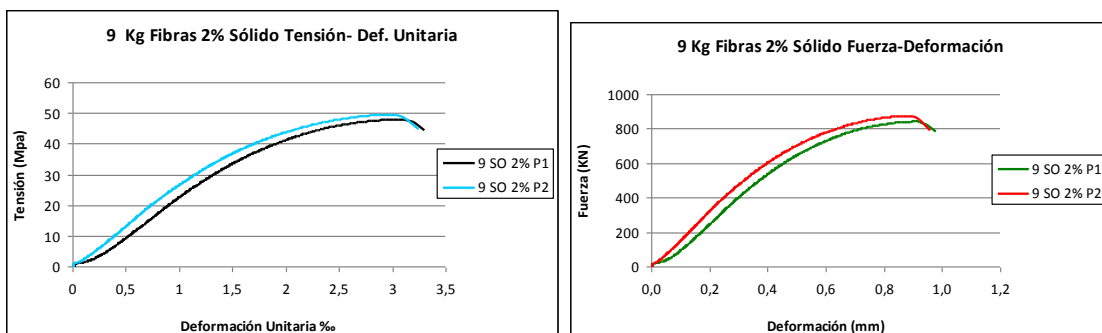
## Fibras 9 kg con con 2% adherente líquido



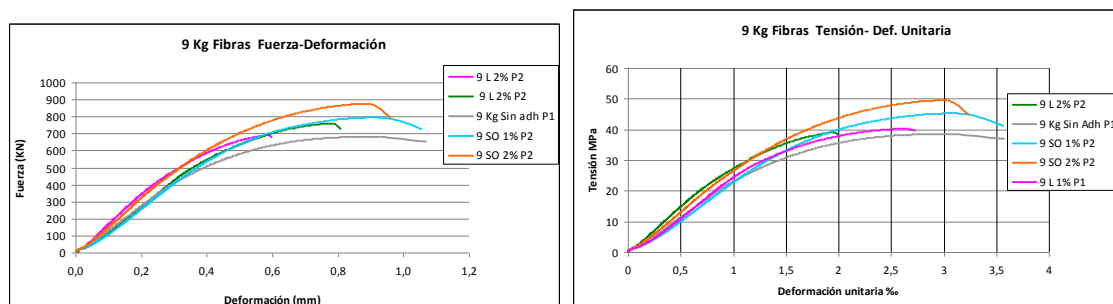
### Fibras 9 kg con con 1% adherente sólido



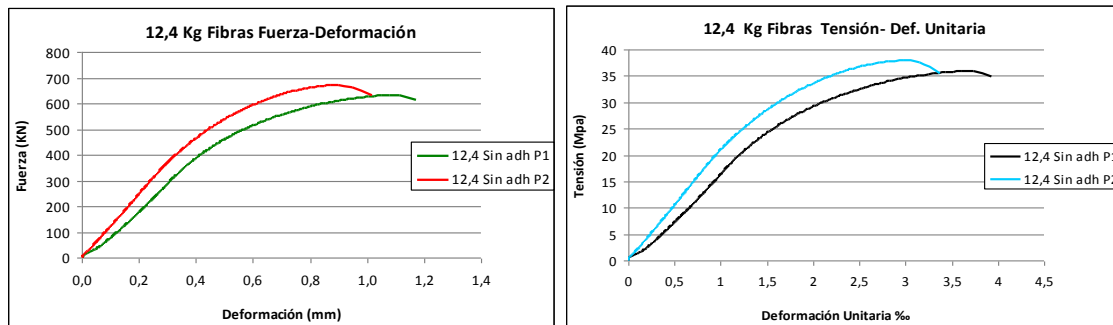
### Fibras 9 kg con con 2% adherente sólido



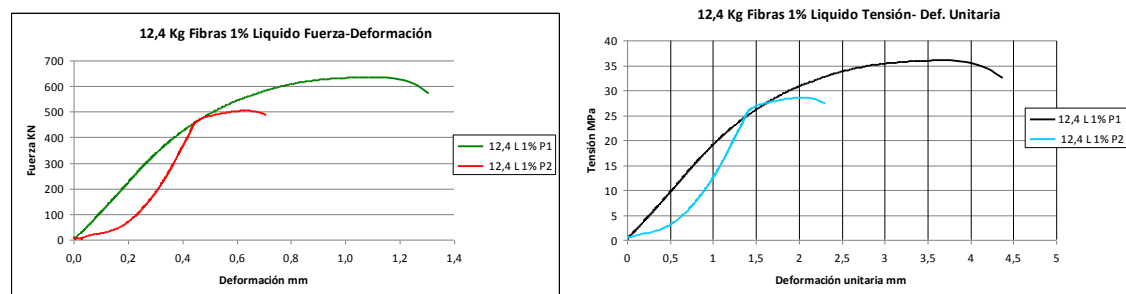
### Comparativa fibras 9 kg



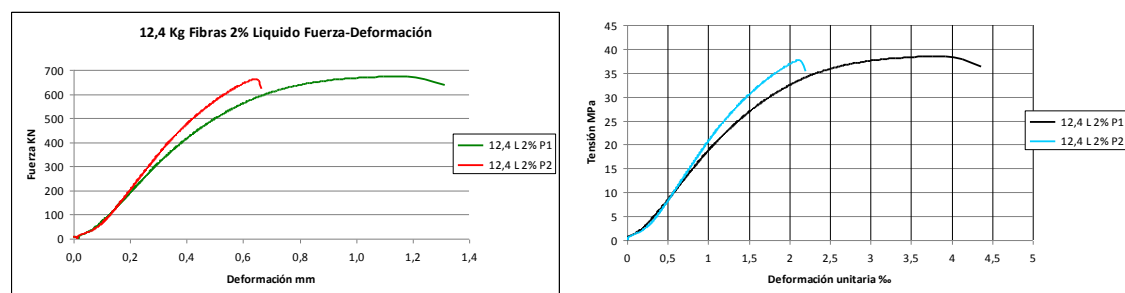
## Fibras 12.4 kg con sin adherente



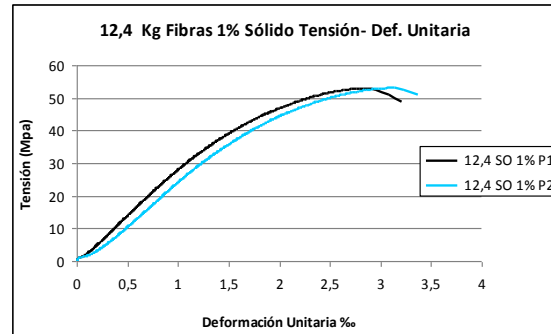
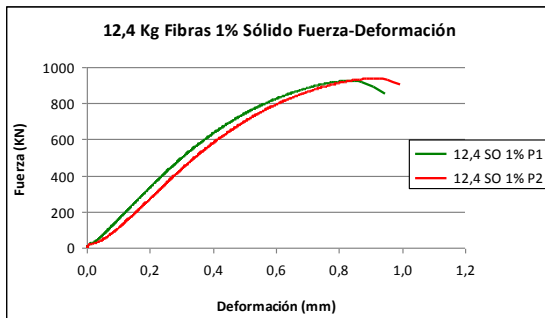
## Fibras 12.4 kg con 1% adherente líquido



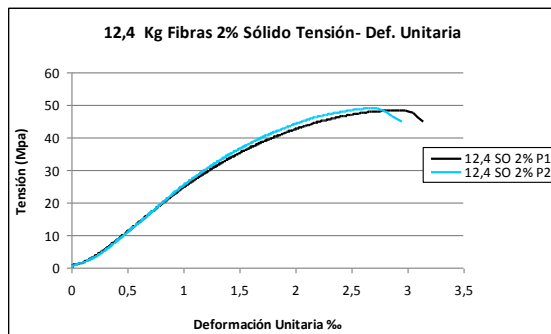
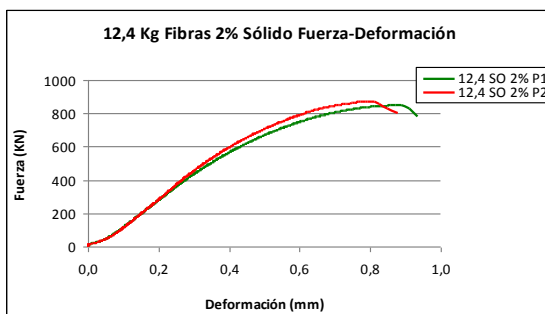
## Fibras 12.4 kg con 2% adherente líquido



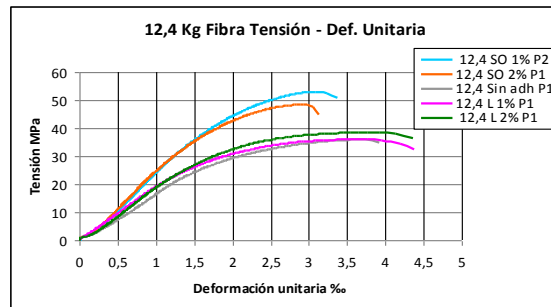
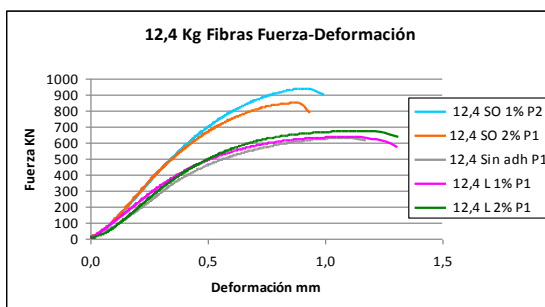
### Fibras 12.4 kg con 1% adherente sólido



### Fibras 12.4 kg con 2% adherente sólido



### Comparativa fibras 12,4kg



## *ANEXO 4. PRESUPUESTO*



## Viga 1 de hormigón armado sin fibras

Descripción	Ud medida	Cantidad	Precio	Importe
Encofrado de madera con acabado en melamina compuesta por paredes y fondo. Incluye arriostramientos metalicos de paredes y tubos de PVC para aligeramientos	Ud	1	25	25
Cemento CEM I 42,5R	Toneladas	0,0084	90	0,756
Grava de origen calizo de machaqueo de 12,5mm de Tmax	Toneladas	0,0144	12	0,1728
Arena de origen calizo de machaqueo de 4mm de Tmax	Toneladas	0,0196	8,79	0,172284
Arena de origen calizo de machaqueo de 2mm de Tmax	Toneladas	0,0134	10,13	0,135742
Finos calizos	Toneladas	0,00048	76,66	0,0367968
Agua	litros	5,07	0,1	0,507
Aditivo superfluidificante	kg	0,109	0,75	0,08175
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 6mm usada para estribos y para celosias	kg	1,38	0,96	1,3248
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 8mm usadas para armaduras longitudinales superiores e inferiores	kg	6,32	0,96	6,0672
Mano de obra	Horas	15	6	90
Medios auxiliares 20%				24,8508746
				149,105247
			21% Iva	31,3121019
			<b>Total</b>	<b>180,417349</b>

## Viga 2 de hormigón armado 6,2kg fibras

Descripción	Ud medida	Cantidad	Precio	Importe
Encofrado de madera con acabado en melamina compuesta por paredes y fondo. Incluye arriostramientos metalicos de paredes y tubos de PVC para aligeramientos	Ud	1	25	25
Cemento CEM I 42,5R	Toneladas	0,0084	90	0,756
Grava de origen calizo de machaqueo de 12,5mm de Tmax	Toneladas	0,0144	12	0,1728
Arena de origen calizo de machaqueo de 4mm de Tmax	Toneladas	0,0196	8,79	0,172284
Arena de origen calizo de machaqueo de 2mm de Tmax	Toneladas	0,0134	10,13	0,135742
Finos calizos	Toneladas	0,00048	76,66	0,0367968
Agua	litros	5,07	0,1	0,507
Aditivo superfluidificante	kg	0,109	0,75	0,08175
Fibras T60	kg	6,2	5	31
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 6mm usada para estribos y para celosias	kg	1,38	0,96	1,3248
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 8mm usadas para armaduras longitudinales superiores e inferiores	kg	6,32	0,96	6,0672
Mano de obra	Horas	15	6	90
Medios auxiliares 20%				31,0508746
			21% Iva	39,1241019
			<b>Total</b>	<b>225,429349</b>

### Viga 3 de hormigón armado 9kg fibras

Descripción	Ud medida	Cantidad	Precio	Importe
Encofrado de madera con acabado en melamina compuesta por paredes y fondo. Incluye arriostramientos metalicos de paredes y tubos de PVC para aligeramientos	Ud	1	25	25
Cemento CEM I 42,5R	Toneladas	0,0084	90	0,756
Grava de origen calizo de machaqueo de 12,5mm de Tmax	Toneladas	0,0144	12	0,1728
Arena de origen calizo de machaqueo de 4mm de Tmax	Toneladas	0,0196	8,79	0,172284
Arena de origen calizo de machaqueo de 2mm de Tmax	Toneladas	0,0134	10,13	0,135742
Finos calizos	Toneladas	0,00048	76,66	0,0367968
Agua	litros	5,07	0,1	0,507
Aditivo superfluidificante	kg	0,109	0,75	0,08175
Fibras T60	kg	9	5	45
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 6mm usada para estribos y para celosias	kg	1,38	0,96	1,3248
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 8mm usadas para armaduras longitudinales superiores e inferiores	kg	6,32	0,96	6,0672
Mano de obra	Horas	15	6	90
Medios auxiliares 20%				33,8508746
			21% Iva	42,6521019
			<b>Total</b>	<b>245,757349</b>



## Viga 4 de hormigón armado 12,4kg fibras

Descripción	Ud medida	Cantidad	Precio	Importe
Encofrado de madera con acabado en melamina compuesta por paredes y fondo. Incluye arriostramientos metalicos de paredes y tubos de PVC para aligeramientos	Ud	1	25	25
Cemento CEM I 42,5R	Toneladas	0,0084	90	0,756
Grava de origen calizo de machaqueo de 12,5mm de Tmax	Toneladas	0,0144	12	0,1728
Arena de origen calizo de machaqueo de 4mm de Tmax	Toneladas	0,0196	8,79	0,172284
Arena de origen calizo de machaqueo de 2mm de Tmax	Toneladas	0,0134	10,13	0,135742
Finos calizos	Toneladas	0,00048	76,66	0,0367968
Agua	litros	5,07	0,1	0,507
Aditivo superfluidificante	kg	0,109	0,75	0,08175
Fibras T60	kg	12,4	5	62
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 6mm usada para estribos y para celosias	kg	1,38	0,96	1,3248
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 8mm usadas para armaduras longitudinales superiores e inferiores	kg	6,32	0,96	6,0672
Mano de obra	Horas	15	6	90
Medios auxiliares 20%				37,2508746
			21% Iva	46,9361019
			<b>Total</b>	<b>270,441349</b>

### Viga 5 de hormigón semiarmado 9kg fibras

Descripción	Ud medida	Cantidad	Precio	Importe
Encofrado de madera con acabado en melamina compuesta por paredes y fondo. Incluye arriostramientos metalicos de paredes y tubos de PVC para aligeramientos	Ud	1	25	25
Cemento CEM I 42,5R	Toneladas	0,0084	90	0,756
Grava de origen calizo de machaqueo de 12,5mm de Tmax	Toneladas	0,0144	12	0,1728
Arena de origen calizo de machaqueo de 4mm de Tmax	Toneladas	0,0196	8,79	0,172284
Arena de origen calizo de machaqueo de 2mm de Tmax	Toneladas	0,0134	10,13	0,135742
Finos calizos	Toneladas	0,00048	76,66	0,0367968
Agua	litros	5,07	0,1	0,507
Aditivo superfluidificante	kg	0,109	0,75	0,08175
Fibras T60	kg	9	5	45
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 6mm usada para estribos y para celosias	kg	1,38	0,96	1,3248
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 8mm usadas para armaduras longitudinales superiores e inferiores	kg	4,21	0,96	4,0416
Mano de obra	Horas	15	6	90
Medios auxiliares 20%				33,4457546
			21% Iva	42,1416507
			<b>Total</b>	<b>242,816178</b>

## Viga 6 de hormigón sin armado sin fibras

Descripción	Ud medida	Cantidad	Precio	Importe
Encofrado de madera con acabado en melamina compuesta por paredes y fondo. Incluye arriostramientos metalicos de paredes y tubos de PVC para aligeramientos	Ud	1	25	25
Cemento CEM I 42,5R	Toneladas	0,0084	90	0,756
Grava de origen calizo de machaqueo de 12,5mm de Tmax	Toneladas	0,0144	12	0,1728
Arena de origen calizo de machaqueo de 4mm de Tmax	Toneladas	0,0196	8,79	0,172284
Arena de origen calizo de machaqueo de 2mm de Tmax	Toneladas	0,0134	10,13	0,135742
Finos calizos	Toneladas	0,00048	76,66	0,0367968
Agua	litros	5,07	0,1	0,507
Aditivo superfluidificante	kg	0,109	0,75	0,08175
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 6mm usada para estribos y para celosias	kg	0	0,96	0
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 8mm usadas para armaduras longitudinales superiores e inferiores	kg	0	0,96	0
Mano de obra	Horas	15	6	90
Medios auxiliares 20%				23,3724746
				140,234847
			21% Iva	29,4493179
			<b>Total</b>	<b>169,684165</b>

## Viga 7 de hormigón sin armado 12,4kg fibras

Descripción	Ud medida	Cantidad	Precio	Importe
Encofrado de madera con acabado en melamina compuesta por paredes y fondo. Incluye arriostramientos metalicos de paredes y tubos de PVC para aligeramientos	Ud	1	25	25
Cemento CEM I 42,5R	Toneladas	0,0084	90	0,756
Grava de origen calizo de machaqueo de 12,5mm de Tmax	Toneladas	0,0144	12	0,1728
Arena de origen calizo de machaqueo de 4mm de Tmax	Toneladas	0,0196	8,79	0,172284
Arena de origen calizo de machaqueo de 2mm de Tmax	Toneladas	0,0134	10,13	0,135742
Finos calizos	Toneladas	0,00048	76,66	0,0367968
Agua	litros	5,07	0,1	0,507
Aditivo superfluidificante	kg	0,109	0,75	0,08175
Fibras T60	kg	24	5	120
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 6mm usada para estribos y para celosias	kg	0	0,96	0
Barras de acero corrugado B 500 SD de diámetro 8mm usadas para armaduras longitudinales superiores e inferiores	kg	0	0,96	0
Mano de obra	Horas	15	6	90
Medios auxiliares 20%				47,3724746
			21% Iva	59,6893179
			<b>Total</b>	<b>343,924165</b>