

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN Y
ESBELTEZ DE FIBRAS DE ACERO EN LOS RESULTADOS DEL
ENSAYO BARCELONA DEL CONCRETO REFORZADO CON
FIBRAS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. RONAL ALEJANDRO, MINCHAN GONZALES

ASESOR:

Ing. MARCO, HOYOS SAUCEDO.

CAJAMARCA - PERÙ

2021

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por la vida que me da, permitiéndome disfrutar cada día de su creación, admirándola, contemplándola, realizando lo que más me apasiona, haciendo realidad mis más anhelados sueños; y por ayudarme a cumplir con éxito cada etapa importante en mi vida.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por prepararme para los retos de hoy.

Al asesor, Ing. Marco, Hoyos Saucedo por su aporte en el desarrollo del presente estudio.

A los docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca, quienes a través de sus enseñanzas nos prepararon para la vida y enfrentar con éxito las dificultades.

Al Mg ing. Héctor, Pérez Loayza, con quien iniciamos esta investigación con mucho entusiasmo, hoy descansa en paz.

DEDICATORIA

A mis padres, Alejandro y Marina, por su incomparable amor que me dan en cada momento, por estar presentes en esta etapa muy importante en mi vida, enseñándome cada día a ser mejor que ayer, y poder lograr con éxito lo que en un inicio era un sueño.

A mis hermanos, Jorge, pablo, Homero y Rosa, por su amistad, amor, apoyo y unión que perdurará por siempre en nuestros corazones.

A mi hijo, Liam Alexander, por quien cumpliré muchas metas, y haré realidad los sueños más anhelados.

A mis abuelitos, Andrés y Sebastiana, quienes cada día muestran un ejemplo de amor, uniendo a toda la familia

Ronald A, Minchan Gonzales

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PAGINA
1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3. HIPÓTESIS.....	16
1.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES	17
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	17
1.6. ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.7. OBJETIVOS.....	18
1.8. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS.	19
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	21
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	21
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	21
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	24
2.2. MARCO NORMATIVO INTERNACIONAL	25
2.2.1. INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE-08)	26
2.2.2. UNE-EN 14889-1:2008	26
2.2.3. UNE-EN 14889-2: 2008.....	26
2.2.4. UNE 83515-AENOR (2010)	26
2.2.5. ACI 544.1R - 96: 2002	27
2.2.6. NBN B 15-238 (1995) ENSAYO BELGA.....	27
2.2.7. ASTM C1609/1609M (2012): Determinación de la tenacidad del concreto proyectado con fibras.....	27
2.2.8. UNE-EN 14651: 2007+A1: 2008 Ensayo para concreto con fibras metálicas.	28
2.3. BASES TEÓRICAS	28
2.3.1. CONCRETO	28
2.3.2. AGREGADOS GENERALIDADES	28
2.3.3. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	28
2.3.4. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	36
2.3.5. PROPIEDADES DEL CONCRETO	37
2.3.6. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF)	40
2.3.7. FIBRAS.....	41
2.3.8. COMPONENTES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)	44
2.3.9. ELABORACIÓN DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA).....	50
2.3.10. ENSAYOS DE EVALUACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF).....	52

2.3.11.	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)	60
2.3.12.	OTRAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	62
2.3.13.	APLICACIONES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF).....	64
2.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	66
3.	CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	69
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN	69
3.2.	MATERIALES.....	69
3.3.	EQUIPOS.....	69
3.4.	MÉTODOS	70
3.4.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	70
3.4.2.	UNIDAD DE ANÁLISIS.	70
3.4.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO.....	71
3.4.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	71
3.4.5.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.	72
3.4.6.	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	73
4.	CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	81
4.1.	ENSAYOS DE CONSISTENCIA DEL CONCRETO	81
4.2.	ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO SIMPLE	81
4.3.	ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA).....	82
4.4.	ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FISURACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA) (RESISTENCIA A LA TRACCIÓN MÁXIMA).....	86
4.5.	ENSAYOS DE RESISTENCIA RESIDUAL DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)	91
4.6.	ENSAYOS DE TENACIDAD DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)	97
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
5.1.	CONCLUSIONES.....	105
5.2.	RECOMENDACIONES.....	108
5.3.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
	ANEXO 1.....	111
	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.....	111
	ANEXO 02.....	111
	SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE CONCRETO, MÉTODO DEL COMITÉ DEL ACI.....	111
	ANEXO 03.....	111

RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN AXIAL Y ENSAYO BARCELONA	111
ANEXO 04.....	111
FICHAS TÉCNICAS FIBRAS DE ACERO DRAMIX 3D Y 4D.....	111
ANEXO 05.....	111
PLANO DE UBICACIÓN DE CANTERA.....	111
ANEXO 06.....	111
FIGURAS	111
ANEXO 07	111
PANEL FOTOGRÁFICO	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1–Curva granulométrica del agregado fino, granulometría C	114
Figura 2–Curva granulométrica del agregado fino, granulometría M.....	115
Figura 3–Curva granulométrica del agregado grueso, huso 7	118
Figura 4–Carga vs deformación del CRFA 3D65/60BG, dosificación 15 kg/m ³	136
Figura 5–Carga vs deformación del CRFA 3D65/60BG, dosificación 20 kg/m ³	138
Figura 6–Carga vs deformación del CRFA 3D65/60BG, dosificación 25 kg/m ³	139
Figura 7–Carga vs deformación del CRFA 3D80/60BG, dosificación 10 kg/m ³	141
Figura 8–Carga vs deformación del CRFA 3D80/60BG, dosificación 15 kg/m ³	142
Figura 9–Carga vs deformación del CRFA 3D80/60BG, dosificación 20 kg/m ³	143
Figura 10–Carga vs deformación del CRFA 4D55/60BG, dosificación 20 kg/m ³	145
Figura 11–Carga vs deformación del CRFA 4D55/60BG, dosificación 25 kg/m ³	146
Figura 12–Carga vs deformación del CRFA 4D55/60BG, dosificación 30 kg/m ³	148
Figura 13–Carga vs deformación del CRFA 4D45/35BL, dosificación 30 kg/m ³	149
Figura 14–Carga vs deformación del CRFA 4D45/35BL, dosificación 35 kg/m ³	151
Figura 15–Carga vs deformación del CRFA 4D45/35BL, dosificación 40 kg/m ³	152
Figura 16–Tenacidad del CRFA 3D65/60BG, dosificación 15kg/m ³	153
Figura 17–Tenacidad del CRFA 3D65/60BG, dosificación 20 kg/m ³	153
Figura 18–Tenacidad del CRFA 3D65/60BG, dosificación 25 kg/m ³	154
Figura 19–Tenacidad del CRFA 3D80/60BG, dosificación 10 kg/m ³	154
Figura 20–Tenacidad del CRFA 3D80/60BG, dosificación 15 kg/m ³	155
Figura 21–Tenacidad del CRFA 3D80/60BG, dosificación 20 kg/m ³	155
Figura 22–Tenacidad del CRFA 4D55/60BG, dosificación 20 kg/m ³	156
Figura 23–Tenacidad del CRFA 4D55/60BG, dosificación 25 kg/m ³	156
Figura 24–Tenacidad del CRFA 4D55/60BG, dosificación 30 kg/m ³	157
Figura 25–Tenacidad del CRFA 3D45/35BL, dosificación 30 kg/m ³	157
Figura 26–Tenacidad del CRFA 3D45/35BL, dosificación 35 kg/m ³	158
Figura 27–Tenacidad del CRFA 3D45/35BL, dosificación 40 kg/m ³	158
Figura 28–Características del ensayo Belga (fuente: NBN B 15-238).....	164
Figura 29–Esquema de tipos de fractura (fuente: NTP 339.034:2015).....	164
Figura 30–Efecto del tamaño del agregado en la distribución de fibras de 40 mm de longitud	164
Figura 31–Sección de las fibras más comunes.....	164
Figura 32–Geometría de las fibras	165
Figura 33–Fibra de acero Dramix con extremos conformados en 3D	165
Figura 34– Fibra de acero Dramix con extremos conformados en 4D	165
Figura 35–Relación de valores de Cono de Abrams y Cono Invertido.....	165
Figura 36–Efecto de la esbeltez de las fibras en la consistencia del concreto evaluada con el Consistómetro VeBe.....	166
Figura 37–Influencia del tamaño máximo de agregado en la consistencia del concreto	166
Figura 38–Ensayo a flexotracción con cargas a los tercios de la luz libre	166
Figura 39– Ensayo 3 point Bending	167
Figura 40–Configuración del ensayo Barcelona	167
Figura 41–Configuración del ensayo Barcelona y modo de falla.	168
Figura 42–Esquema de ensayo y mecanismo de falla.....	168
Figura 43–Diagramas de carga y energía–deformación circunferencial, UNE 83515	168

Figura 44–Curvas tracción-deformación de morteros a tracción directa	169
Figura 45–Curva carga-flecha a flexotracción para un CRFA.....	169
Figura 46–Respuesta a compresión simple de CRFA con diferentes Vf y diferente esbeltez de probeta	169
Figura 47–Elemento de CRF sometido a tracción o flexotracción. Forma de la ecuación constitutiva	170
Figura 48– patio norte Sinchi Roca (patio de maniobras del bus metropolitano)	170
Figura 49– construcción de planta metalmecánica IMECON	170
Figura 50–Base militar cerro Muriano	171
Figura 51– CRFA resistente a explosiones	171
Figura 52– CRF aplicación en túneles	171
Figura 53–Paneles prefabricados de CRFA para viviendas.....	172
Figura 54–Dovelas prefabricadas de CRF para túneles	172
Figura 55– Oceanográfico de valencia	172
Figura 56 –Tubos y arquetas prefabricados	173
Figura 57–Proceso de resistencia del concreto al fuego	173
Figura 58–Ubicación de la cantera Aguilar, rio chonta.....	173
Figura 59–Agregado Fino y Grueso de la cantera rio chonta	174
Figura 60– Fibras de acero Dramix 3D65/60BG y 4D55/60BG, encoladas en peines	174
Figura 61–Fibras de acero Dramix 3D45/35BL y 3D80/60BG, sueltas y encoladas en peines	174
Figura 62–Extensómetro confeccionado de acero, ensamblaje para el ensayo.....	175
Figura 63–Comparador digital	175
Figura 64–Soporte magnético	175
Figura 65–Dimensiones de los punzones elaborados.....	176
Figura 66–Punzones elaborados de acero	176
Figura 67–Cono de Abrams.....	176
Figura 68–Determinación de las propiedades físico mecánicas del agregado Fino y Grueso.....	177
Figura 69–Ensayo de consistencia del CRFA, probetas elaboradas de CRFA de 15x30 y 15x15 cm.....	177
Figura 70–Probetas de CRFA de 30x15 y 15x15 cm, configuración del ensayo Barcelona.	178
Figura 71–Ensayo Barcelona del concreto reforzado con fibras de acero (CRFA)	178
Figura 72–Fractura tipo V en los ensayos a compresión axial del CRFA	179
Figura 73–Formación de fallas cónicas y fisuras radiales en el ensayo Barcelona	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1–Resumen de serie de mezclas de diseño según dosificación y tipo de fibra ..	20
Tabla 2–Propiedades de las fibras	42
Tabla 3–Intervalo de proporciones para un CRFA.....	44
Tabla 4–Especificaciones técnicas de fibras de acero Dramix utilizadas	49
Tabla 5–características de los principales ensayos para evaluar el CRF	58
Tabla 6–Serie de mezclas de CRFA, de acuerdo al tipo de fibras y dosificaciones consideradas	71
Tabla 7–Propiedades físicas del Agregado Fino.....	75
Tabla 8 –Propiedades físicas del Agregado Grueso	75
Tabla 9–Resistencia promedio a compresión requerida cuando no hay datos para establecer la desviación estándar de la muestra.	75
Tabla 10– Volumen unitario de agua	76
Tabla 11–Contenido de Aire Atrapado.....	77
Tabla 12–Relación Agua/Cemento por Resistencia	77
Tabla 13–Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....	78
Tabla 14–Resumen de proporciones de mezcla del concreto patrón.....	79
Tabla 15–Resultados de ensayos de consistencia del concreto fresco.	81
Tabla 16–Resultados de resistencia a compresión del concreto de prueba a los 7 días	82
Tabla 17–Resultados de resistencia a compresión del concreto patrón a 7 días.....	82
Tabla 18–Resultados de resistencia a compresión del concreto patrón a 14 días.....	82
Tabla 19–Resultados de resistencia a compresión del concreto patrón a 28 días.....	82
Tabla 20–Resultados de resistencia a compresión del CRFA 3D 80/60BG a 28 días .	83
Tabla 21–Resultados de resistencia a compresión del CRFA 3D 65/60BG a 28 días .	83
Tabla 22–Resultados de resistencia a compresión del CRFA 4D 55/60 BG a 28 día ..	83
Tabla 23–Resultados de resistencia a compresión del CRFA 3D 45/35BL a 28 días ..	84
Tabla 24–Resultados de resistencia a fisuración del CRFA 3D 80/60BG a 28 días.....	86
Tabla 25–Resultados de resistencia a fisuración del CRFA 3D 65/60BG a 28 días.....	86
Tabla 26–Resultados de resistencia a fisuración del CRFA 4D 55/60BG	87
Tabla 27–Resultados de resistencia a fisuración del CRFA 3D 45/35BL	88
Tabla 28–Resultados de resistencia residual del CRFA 3D 80/60BG a 28 días	91
Tabla 29 –Resultados de resistencia residual del CRFA 3D 65/60BG a 28 días	92
Tabla 30–Resultados de resistencia residual del CRFA 4D 55/60BG, a 28 días	93
Tabla 31–Resultados de resistencia residual del CRFA 3D 45/35BL a 28 días	94
Tabla 32–Resultados de tenacidad del CRFA 3D 80/60BG a 28 días	97
Tabla 33–Resultados de tenacidad del CRFA 3D 65/60BG a los días	98
Tabla 34–Resultados de tenacidad del CRFA 4D 55/60BG, a 28 días	99
Tabla 35–Resultados de tenacidad del CRFA 3D 45/35BL a 28 días	100
Tabla 36–Peso específico y absorción del agregado fino	112
Tabla 37–Peso específico y absorción del agregado grueso.....	113
Tabla 38–Análisis granulométrico del agregado fino, muestra 01.....	113
Tabla 39–Análisis granulométrico del agregado fino, muestra 02.....	114
Tabla 40–Análisis granulométrico del agregado grueso, muestra 01	117
Tabla 41–Análisis granulométrico del agregado grueso, muestra 02	117
Tabla 42–Peso unitario suelto del agregado fino.	119
Tabla 43–Peso unitario compactado del agregado fino.	119

Tabla 44–Peso unitario suelto del agregado grueso.	119
Tabla 45–Peso unitario compactado del agregado grueso.	120
Tabla 46–Contenido de humedad del agregado fino.....	120
Tabla 47–Contenido de humedad del agregado grueso.....	120
Tabla 48–Propiedades físicas del agregado fino.	121
Tabla 49–Propiedades físicas del agregado grueso.	121
Tabla 50–Valores de diseño	123
Tabla 51–Peso de los materiales corregidos por humedad, mezcla de prueba.	123
Tabla 52–Proporción en peso de los materiales sin corregir por humedad.....	124
Tabla 53–Proporción en peso de los materiales corregidos por humedad.....	124
Tabla 54–Cantidad de materiales por tanda de una bolsa de cemento.	124
Tabla 55–Cantidad de materiales para tanda de 0.02m ³	124
Tabla 56–Materiales corregidos por humedad del agregado, mezcla patrón.....	127
Tabla 57–Proporción en peso de los materiales sin corregir por humedad.....	127
Tabla 58–Proporción en peso de los materiales corregidos por humedad.....	127
Tabla 59–Materiales para tanda de una bolsa, mezcla patrón	127
Tabla 60–Materiales para una tanda de 0.02 m ³ , mezcla patrón	127
Tabla 61–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D65/60BG, dosificación 15 kg/m ³	128
Tabla 62–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D65/60BG, dosificación 20 kg/m ³	128
Tabla 63–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D65/60BG, dosificación 25 kg/m ³	129
Tabla 64–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D80/60BG, dosificación 10 kg/m ³	130
Tabla 65–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D80/60BG, dosificación 15 kg/m ³	130
Tabla 66–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D80/60BG, dosificación 20 kg/m ³	131
Tabla 67–Resistencia a compresión axial del CRFA 4D55/60BG, dosificación 20 kg/m ³	131
Tabla 68–Resistencia a compresión axial del CRFA 4D55/60BG, dosificación 25 kg/m ³	132
Tabla 69–Resistencia a compresión axial del CRFA 4D55/60BG, dosificación 30 kg/m ³	132
Tabla 70–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D45/35BL, dosificación 30 kg/m ³	133
Tabla 71–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D45/35BL, dosificación 35 kg/m ³	133
Tabla 72–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D45/35BL, dosificación 40 kg/m ³	134
Tabla 73–Resistencia residual del CRFA 3D65/60BG, dosificación 15 kg/m ³	135
Tabla 74–Resistencia residual del CRFA 3D65/60BG, dosificación 20 kg/m ³	136
Tabla 75–Resistencia residual del CRFA 3D65/60BG, dosificación 25 kg/m ³	138
Tabla 76–Resistencia residual del CRFA 3D 80/60BG, dosificación 10 kg/m ³	140
Tabla 77–Resistencia residual del CRFA 3D 80/60BG, dosificación 15 kg/m ³	141
Tabla 78–Resistencia residual del CRFA 3D 80/60BG, dosificación 20 kg/m ³	142
Tabla 79–Resistencia residual del CRFA 4D55/60BG, dosificación 20 kg/m ³	144
Tabla 80–Resistencia residual del CRFA 4D55/60BG, dosificación 25 kg/m ³	145

Tabla 81–Resistencia residual del CRFA 4D55/60BG, dosificación 30 kg/m ³	146
Tabla 82–Resistencia residual del CRFA 3D45/35BL, dosificación 30 kg/m ³	148
Tabla 83–Resistencia residual del CRFA 3D45/35BL, dosificación 35 kg/m ³	149
Tabla 84–Resistencia residual del CRFA 3D45/35BL, dosificación 40 kg/m ³	151

RESUMEN

Las normas tales como la instrucción española del hormigón estructural (EHE-08), ASTM C1609: 2012, UNE-EN 14651:2007, entre otras, emplean vigas para evaluar al concreto reforzado con fibras (CRF), sin embargo, según diversos estudios de CRF, se ha encontrado coeficientes de variación (CV) en los resultados mayores al 20%, lo cual dificulta evaluar su comportamiento. Con el fin de solucionar este inconveniente, y obtener una mejor performance en los resultados surgió un nuevo método de ensayo llamado ensayo Barcelona (UNE 83515:2010), en el cual utilizando una muestra de 150 mm de diámetro y altura se evalúa la resistencia a la fisuración, resistencia residual y tenacidad del CRF con menor variación que los ensayos a flexión en vigas, aplicando este método y el de compresión axial se determinó la influencia de la dosificación y esbeltez de las fibras de acero en el CRF, se estudiaron cuatro tipos de fibra 3D 80/60BG, 3D 65/60BG, 4D 55/60BG y 3D 45/35BL, de esbeltez 80, 65, 55 y 45 respectivamente, para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, empleando cemento tipo I Pacasmayo y agregados de la cantera Aguilar baños del inca, él diseño se realizó tomando como referencia el método ACI, considerando una cantidad menor de cemento a la que indican las tablas ACI (-29%) con el objetivo de observar la influencia de la esbeltez de fibras de acero en las propiedades del CRF, ya que al aumentar la esbeltez, aportará una mayor superficie específica a la mezcla, la cual afectará la adherencia fibra-matriz, se diseñaron cuatro series de mezcla M1, M2, M3, M4, con tres dosificaciones diferentes para cada serie, considerando como dosificación mínima la especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1, 10, 15, 20, 30 kg/m^3 , para cada tipo de fibra de acero respectivamente, obteniéndose los siguientes resultados, en compresión para una dosificación de 25 kg/m^3 se obtuvo un ligero incremento de 1.93% y 5.27% producido por las fibras 3D 65/60BG y 4D 55/60BG respectivamente, respecto al concreto patrón sin fibras; en resistencia a la fisuración se obtuvo 2.389, 2.635, 2.67, 1.893 N/mm^2 ; en resistencia residual 0.532, 0.748, 0.772, 0.539 N/mm^2 para una deformación circunferencial de 2mm; en tenacidad 300.75, 399.94, 456.17, 323.34J, para una deformación circunferencial de 6mm, concluyendo que la dosificación y esbeltez de las fibras

de acero Dramix 3D y 4D influyen incrementando la resistencia a la fisuración, resistencia residual y tenacidad del CRFA, conforme se incrementa la dosificación y la esbeltez de las fibras y se considere una óptima cantidad de cemento, encontrándose que las fibras 4D 55/60 BG, dieron los mejores resultados debido al doble anclaje de sus extremos, así mismo comparando los CV de los resultados obtenidos mediante este método y los métodos donde se emplean vigas, se encontró que los CV son menores al 20% así tenemos para resistencia a la fisuración, resistencia residual, y tenacidad los CV fueron 1.61 a 7.59%, 4.05 a 12.13%, 5.1 a 11.36%, respectivamente para los tipos de fibras de acero 3D y 4D.

PALABRAS CLAVES: concreto reforzado con fibras (CRF), dosificación, esbeltez

ABSTRAC

Standards such as the Spanish instruction on structural concrete (EHE-08), ASTM C1609: 2012, UNE-EN 14651: 2007, among others, use beams to evaluate fiber reinforced concrete (CRF), however, according to various in studies on CRF, coefficients of variation (CV) have been found in the results greater than 20%, which makes it difficult to evaluate their behavior. In order to solve this problem, and obtain a better performance in the results, a new test method called the Barcelona test (UNE 83515: 2010) emerged, in which using a standard test piece of 150 mm in diameter and height, the resistance is determined. to the cracking, residual resistance and toughness of the CRF with less variation than the flexural tests in beams, applying this method and the axial compression one determined the influence of the dosage and slenderness of the steel fibers in the CRF, four fiber types 3D 80 / 60BG, 3D 65 / 60BG, 4D 55 / 60BG and 3D 45 / 35BL, with slenderness 80, 65, 55 and 45 respectively, for a concrete $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$, using type I cement Pacasmayo and aggregates from the Aguilar Baños del Inca quarry, he designed was carried out taking ACI method as a reference, considering a lower quantity of cement than that indicated in ACI tables (-29%) in order to observe the influence of the slenderness of steel fibers in I The properties of CRF, since by increasing the slenderness, it will provide a greater specific surface to the mix, which will affect the fiber-matrix adhesion, four series of mixes M1, M2, M3, M4 were designed, with three different dosages for each series, considering as a minimum dosage the one specified by European Certification according to EN 14889-1, 10, 15, 20, 30 kg / m³, for each type of steel fiber respectively, obtaining the following results, in compression for a dosage of 25 kg / m³, a slight increase of 1.93% and 5.27% was obtained, produced by the 3D 65 / 60BG and 4D 55 / 60BG fibers respectively, with respect to the fiber-free standard concrete; in resistance to cracking, 2,389, 2,635, 2.67, 1.893 N / mm² were obtained; in residual resistance 0.532, 0.748, 0.772, 0.539 N / mm² for a circumferential deformation of 2mm; in tenacity 300.75, 399.94, 456.17, 323.34J, for a circumferential deformation of 6mm, concluding that the dosage and slenderness of Dramix 3D and 4D steel fibers influence increasing the resistance to cracking, residual resistance and toughness of the CRFA, as It increases the dosage and the slenderness of the fibers and an optimal quantity of cement is considered, finding that the 4D 55/60 BG fibers gave the best results

due to the double anchoring of their ends, likewise comparing the CV of the results obtained by This method and the methods where beams are used, it was found that the CVs are less than 20%, so we have for resistance to cracking, residual resistance, and toughness the CVs were 1.61 to 7.59%, 4.05 to 12.13%, 5.1 to 11.36% , respectively for 3D and 4D steel fiber types.

KEY WORDS: fiber reinforced concrete (CRF), dosage, slenderness.

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Generalmente, para evaluar el comportamiento del concreto reforzado con fibras (CRF) se ensayan a flexión vigas o paneles de sección cuadrada o circular, mediante estos ensayos se obtiene la resistencia máxima, resistencia residual y tenacidad del CRF, sin embargo, de acuerdo a diversos estudios realizados por Bernard, 2002, Chao et al., 2011, Aire C et al., 2013, respecto a CRF, los resultados presentan alta dispersión con coeficientes de variación mayores al 20%, el problema de la alta dispersión de los resultados en el estado post – fisuración del CRF basado en ensayos a flexión en vigas se debe a que los resultados están influenciados por el número de fibras que refuerzan el área donde se forma la fisura, esta razón, dificulta evaluar las características del CRF, además tienen el inconveniente de tratarse de ensayos complicados y muestras pesadas de difícil manejo en laboratorio; cuestionando su empleo para evaluar el CRF.

Así mismo el desconocimiento de la aplicación del ensayo Barcelona y la carencia de normas respecto al uso del CRF en el Perú limita su empleo en obras importantes que requieren este tipo de material.

Estudios experimentales para evaluar el CRF realizados por Aguado (et al 2005), Saludes (et al 2007), Guardia y Molins (2008) permitieron obtener resultados menos variables comparado con otros ensayos y diferente geometría al que utiliza el ensayo Barcelona, a través este ensayo se obtiene variaciones menores al ensayo brasileño, por lo que debe ampliarse y profundizarse en su estudio con el fin de evaluar el CRF en diferentes aplicaciones.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo influye la dosificación y esbeltez de las fibras de acero Dramix 3D y 4D en los resultados del ensayo Barcelona y en su coeficiente de variación, para evaluar el concreto reforzado con fibras (CRF)?

1.3. HIPÓTESIS

La dosificación y esbeltez de las fibras de acero Dramix 3D y 4D influyen

incrementando la resistencia a la fisuración, resistencia residual y tenacidad del concreto reforzado con fibras (CRF), y el coeficiente de variación (CV) de los resultados obtenidos mediante el ensayo Barcelona es menor a otros métodos que emplean vigas a flexión.

1.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES

- VARIABLE INDEPENDIENTE

- Dosificación
- Esbeltez

- VARIABLE DEPENDIENTE

- Resistencia a la fisuración
- Resistencia residual
- Tenacidad

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Debido a que los resultados de ensayos según la norma europea UNE-EN 14651 (2007), belga NBN B 15-238 (1995) y americana ASTM C1609 (2012), entre otras, presentan alta dispersión y dificultad de aplicación que los invalida como ensayos para evaluar el CRF. Con el fin de obtener resultados más homogéneos se aplicó el ensayo Barcelona, como opción para evaluar la resistencia a tracción del CRF, ya que es un ensayo factible a menor costo, menor variación que los ensayos que emplean vigas a flexión, requiere de un equipo de compresión, básico en laboratorios de ensayo de materiales, las muestras pueden elaborarse con las dimensiones propias del ensayo u obtenerse mediante corte de probetas estándar de 150x300 mm, elemento básico en el control de calidad del concreto o de fácil extracción de estructuras existentes, las muestras emplean menor volumen de concreto, pesan aprox. 7 kg, representan un fácil manejo en laboratorio, comparada con otros ensayos.

Con la aplicación del ensayo Barcelona se pretende mejorar la performance de los resultados con mayor facilidad que otros métodos, ampliar su empleo en Perú

ya que aún es desconocido como ensayo para evaluar el CRF y aplicarlo con fiabilidad en diferentes proyectos que requieren CRF.

1.6. ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene como fin principal ampliar la utilización del de ensayo Barcelona debido al menor coeficiente de variación que se obtiene en los resultados en comparación con otros métodos basados en vigas a flexión. Se evaluaron en forma estadística los resultados obtenidos en laboratorio mediante este ensayo de bajo costo que ofrece una alternativa complementaria a otros métodos, cubrió la elaboración de muestras estándar de concreto simple y concreto reforzado con fibra de acero (CRFA) de (150 ϕ x 300 h, mm) para el ensayo a compresión y de (150 ϕ x 150 h, mm) para el ensayo Barcelona, moldeados con concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, cuyas variables fueron la **Dosificación** y **esbeltez** de las fibras, para la cual se elaboró cuatro series de mezcla con tres dosificaciones diferentes para cada serie, considerando la **Dosificación Mínima según Certificación Europea acorde con EN 14889-1**; de acuerdo al tipo de fibra (ver tabla 1), utilizando agregados de cantera rio chonta Cajamarca; y fibras metálicas Dramix 3D y 4D de la empresa Bekaert.

1.7. OBJETIVOS.

Objetivo General.

- Evaluar la influencia de la dosificación (kg/m^3) y esbeltez (l/d) 45, 55, 65 y 80 de las fibras de acero Dramix 3D y 4D en los resultados del ensayo Barcelona, y en el coeficiente de variación para evaluar el concreto reforzado con fibras.

Objetivos Específicos.

- Diseñar una mezcla de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ sin fibras, utilizando el método del Comité 211 del ACI.
- Diseñar una mezcla de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ reforzado con fibras de acero Dramix 3D y 4D, tomando como referencia el método del comité 211 del ACI.
- Elaborar diagramas carga vs deformación circunferencial para evaluar **la resistencia máxima a la fisuración, resistencia residual, y la tenacidad**

mediante el área bajo la curva energía-deformación que nos brinda el ensayo Barcelona.

- Comparar el coeficiente de variación de los resultados obtenidos mediante el ensayo Barcelona, y los métodos donde se emplean vigas, para evaluar el concreto reforzado con fibra de acero Dramix.

1.8. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS.

La tesis, está dividida en cinco partes denominados capítulos. El capítulo I se denomina Introducción, el cual contiene el tema de estudio, junto con los objetivos a cumplir. El capítulo II hace referencia al estado del conocimiento, aquí se presenta estudios anteriores a este, que ayudan al lector a entender la finalidad del estudio. El capítulo III contiene los ensayos experimentales, dónde se describe los materiales y procedimiento seguidos en el estudio. El capítulo IV contiene el análisis de resultados y finalmente el capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones del estudio.

Tabla 1 – Resumen de serie de mezclas de diseño según dosificación y tipo de fibra (método del comité 211 del ACI).

Mezcla	Tipo de Fibra	Dosificación (Kg/m3)	# de Probetas D= 15, h=15 cm	# de Probetas D= 15, h=30 cm	Volumen de la Probetas de D=15, h=30cm (m3)	Volumen de la Probetas de D=15, h=15cm (m3)	Cantidad de Fibra para D=15, h=30 cm (kg)	Cantidad de Fibra para D=15, h=15 cm (kg)	Cantidad de Fibra por dosificación (kg)
M1	3D 65/60BG	10*	6	3	0.006	0.003	0.27	0.27	0.36
		15	6	3	0.006	0.003	0.36	0.36	0.54
		20	6	3	0.006	0.003	0.45	0.45	0.72
M2	3D 80/60BG	15*	6	3	0.006	0.003	0.18	0.18	0.54
		20	6	3	0.006	0.003	0.27	0.27	0.72
		25	6	3	0.006	0.003	0.36	0.36	0.90
M3	4D 55/60BG	20*	6	3	0.006	0.003	0.36	0.36	0.72
		25	6	3	0.006	0.003	0.45	0.45	0.9
		30	6	3	0.006	0.003	0.54	0.54	1.08
M4	3D45/35BL	30*	6	3	0.006	0.003	0.54	0.54	1.08
		35	6	3	0.006	0.003	0.63	0.63	1.26
		40	6	3	0.006	0.003	0.72	0.72	1.44
							5.13	5.13	10.26

*: dosificación Mínima de fibras de acero, según Certificación Europea acorde con EN 14889-1

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- a. **Figueroa Andrade, M. 2013. Comparativa de la tenacidad entre concreto convencional, concreto reforzado con fibras de acero y concreto reforzado con fibras de polipropileno. Tesis Máster en ingeniería de estructuras, cimentaciones y materiales. Madrid, España, UPM.**

Concluye que:

Al comparar el concreto convencional con el CRF, este último presenta mayor deformación, soporta carga más elevada, las fibras incrementan la absorción de energía (tenacidad) la cual está influenciada por la cantidad de fibras presentes en el área donde se produce la fisura aumentando la ductilidad del concreto, incrementan la resistencia a compresión, tracción, fatiga, esfuerzo cortante, mejoran el comportamiento a la fisuración limitando la expansión de fisuras ya que al fisurarse la matriz la carga se trasmite a las fibras lo cual le permite seguir resistiendo cargas, incluso post fisuración hasta fallar la adherencia de las fibras. La capacidad de absorción de energía obtenida en el CRFA es 32 veces mayor al concreto convencional; en muestras prismáticas de CRFA se observó el efecto pared (disposición paralela de las fibras a las paredes del molde), optimizando la capacidad de reforzar la fisura y soportar mayores cargas.

- b. **Mármol Salazar, PC. 2010. Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Tesis Máster en ingeniería de estructuras, cimentaciones y materiales. Madrid, España, UPM**

Concluye que:

El **tipo de fibra** mejora las propiedades **mecánicas** del concreto; las **fibras de vidrio** son usadas en prefabricados, estructuralmente no deben usarse por la reacción con los **álcalis** del cemento; las fibras de **polipropileno**, por presentar menor módulo elástico que el concreto, no se emplean **estructuralmente**, pero su empleo está aumentando por incrementar la resistencia al **impacto** del concreto y

por disminuir el rebote en concretos proyectados; el aumento de resistencia a **compresión** es casi **despreciable** respecto al concreto simple e incluso, puede ser negativo, en **flexotracción** la inclusión de fibras de acero incrementa la **tenacidad**, la resistencia a la **fatiga**. La resistencia a **cortante** del CRFA posibilita la **ductilidad** de las estructuras, disminuyendo daños causados por sismo.

Las fibras de acero a diferencia de las fibras de vidrio y polipropileno, reducen la trabajabilidad del concreto pudiendo originar enredo de fibras sin concreto interior(**erizos**), lo que no impide su empleo.

La **adherencia** fibra-matriz influye en la ductilidad a rotura, por lo que debe impedirse que la fibra rompa antes que deslice.

Las diferentes normas de ensayos a **flexotracción** presentan **altos coeficientes de variación**, siendo el más efectivo el **ensayo Barcelona**, pero hasta ahora no es posible controlar de calidad del CRFA en obra, de manera confiable.

Los CRFA pueden desempeñar **estructuralmente**, pero **no sustituyen** el acero de refuerzo en muchos casos, las fibras cambian el comportamiento frágil a dúctil.

c. Aire Untiveros, C; Aguado de Cea, A; Molins Borrel, C. 2013. Método de doble punzonamiento de tracción indirecta para concreto reforzado con fibras: Ensayo Barcelona.

Concluye que:

En el ensayo Barcelona, la falla típica de las muestras es la formación de dos o tres fisuras principales radiales en las áreas de carga, y otras secundarias.

Las gráficas carga-deformación circunferencial presentan características muy similares, una deformación casi nula al inicio de la carga hasta llegar a la carga máxima, Después de la carga máxima inicia el régimen post-fisuración. Luego, la carga decrece severamente manteniéndose mientras trabaja la fibra junto al concreto, la resistencia residual final es función del tipo de fibra utilizado.

La máxima resistencia del concreto con fibras de 35 mm, fue mayor al obtenido en concreto con fibras de mayor longitud, la resistencia residual a flexión post fisuración, siguió la misma tendencia que la resistencia máxima. En concretos con fibra de 50 y 60 mm se logró resistencias residuales menores o similares a aquellos con fibra de menor longitud.

Según los resultados, los valores de resistencia máxima, resistencia residual, no dependen de la longitud de fibra al usar longitud mayor a 35 mm.

La **tenacidad** presenta tendencia similar a los valores de resistencia máxima y residual, fueron superiores en concreto elaborado con fibra de 35 mm de longitud. El coeficiente de variación de los resultados de cilindros moldeadas es menor que de los testigos.

El ensayo Barcelona ante otros existentes, permite evaluar al concreto mediante **testigos** y no solo muestras moldeadas, lo cual puede ser importante en casos de discrepancia.

En ensayos a flexotracción en vigas con carga a los tercios de la luz que emplea vigas con entalla, la característica típica carga-deformación CMOD es similar al del ensayo Barcelona.

Los resultados de resistencia a flexotracción tuvieron coeficientes de variación de 5.8 a 14.6%. Esta variación es ligeramente superior comparada con los resultados del ensayo Barcelona, que varió de 1.8 a 10.8%. La resistencia residual para CMOD de 0.5 a 2.5 mm es mayor en concreto con fibras de 35 mm comparado con los de mayor longitud de fibra.

La tenacidad no aumenta al aumentar la longitud de fibra. Los resultados tuvieron coeficientes de variación de 5.6 a 25.1 %, como en resistencia máxima y residual no influye la longitud de fibra.

Generalmente, se afirma que la variación de los resultados empleando el ensayo Barcelona es menor que los obtenidos a través de ensayos a flexotracción en vigas y paneles de sección cuadrada y circular, lo cual consolida al ensayo Barcelona como medio de evaluación del concreto reforzado con fibra.

d. Zárate Garnica, GI. 2015. Caracterización multidireccional del comportamiento a tensión del concreto reforzado con fibras. Tesis Ing. civil especialización en estructuras. DF, México, UNAM

Concluye que:

Los resultados de carga máxima, carga residual, y tenacidad son mayores cuando la carga se aplica en dirección "Z", y se incrementa según aumenta la proporción de fibra en el concreto. En promedio las cargas máximas obtenidas en la dirección "Z" son mayores en un 10% que las obtenidas en las direcciones "X" y "Y". En las

direcciones “X” y “Y”, los valores de carga máxima, carga residual y tenacidad son muy similares.

Los resultados de carga residual presentan menor variación cuando se ensayan en la dirección “Z”, con valores menores a 15%, mientras que en las direcciones “X” y “Y”, se obtuvieron variaciones elevadas, entre 38 y 42% respectivamente.

La configuración de probeta cúbica permite cuantificar el aporte estructural de las fibras en las direcciones “X”, “Y” y “Z”.

Las fibras tienden a presentar una orientación preferentemente en un plano horizontal, una mayor proporción de fibras mejora la resistencia del material en el régimen post fisuración. Este efecto se debe a que un mayor número de fibras se encuentran en el área de fisura, cosiendo la fisura y mejorando la resistencia, no se aprecia variaciones entre las diferentes dosificaciones en la fase elástica de carga. Se concluye que las fibras no influyen durante esta fase.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

a. Córdoba (et al 2012), “Comparación de resistencia equivalente a flexión entre fibras de acero Wirand producidas en Italia y las producidas en Perú. Tesis Ing. Civil. Lima, PUCP.

Concluye que:

En los ensayos de vigas con carga a los tercios, conforme al ASTM C1609, las curvas Carga-deformación de las muestras con dosificación 20kg/m^3 , presentan pendiente de caída un poco brusca luego de llegar a la carga máxima y la recuperación de la curva cuando entra a trabajar la fibra, al fallar el concreto, es insignificante. En cambio, en muestras con dosificación 25kg/m^3 de fibra la caída de la curva es suave y la recuperación puede superar la carga máxima inicial.

b. Montalvo Guevara, ME. 2015. Pavimentos rígidos reforzados con fibra de acero, versus pavimentos tradicionales. Tesis Ing. Civil. Lima, PUCP.

Concluye que:

Las losas de CRFA tienen ventajas ante las losas de concreto simple, las fibras aportan en todo el espesor, de forma tridimensional aumentan la resistencia a esfuerzos de carga durante su vida útil.

La construcción de pavimentos reforzados con malla de acero es más dificultosa que la de pavimentos reforzados con fibras de acero, por ello el uso de fibras reduce tiempo de construcción.

En pavimentos reforzados con fibras se disminuye espesor de manera económica, se ahorraría 13% del costo en un pavimento reforzado con fibras respecto de un pavimento tradicional y 30% del costo respecto de un pavimento reforzado con malla de acero.

c. Beresovsky de las Casas, A. 2008. Estudio experimental del comportamiento por desempeño del concreto lanzado reforzado con fibras metálicas. Tesis Ing. Civil. Lima, PUCP.

De acuerdo a los distintos tipos de fibras metálicas estudiados y diferentes productores

Concluye que:

En algunos casos conforme aumenta la dosis de fibra en el shotcrete, la resistencia residual obtiene su valor máximo y al seguir incrementando fibra esta decrece, en tanto que en las demás el aumento de resistencia residual máxima aumenta linealmente al incrementar la dosificación de fibra. Similar comportamiento presenta los resultados de tenacidad de las muestras de shotcrete ensayadas utilizando paneles circulares.

No hay un comportamiento lineal para los tipos de fibras de acero estudiadas, cada fibra define un comportamiento típico en función de la dosificación, así se tienen tendencias lineales y tendencias parabólicas.

Existe proporcionalidad directa entre tenacidad y resistencia residual esperada en el shotcrete producida por el tipo y dosificación de fibra.

2.2. MARCO NORMATIVO INTERNACIONAL

La carencia de normas referentes al concreto reforzado con fibras (CRF) ha originado ignorar este tipo de material (Ramos H, 2012).

Sin embargo, han ido apareciendo importantes normas para evaluar el CRF: Rilem TC 162-TDF, 2003; italiana CNR-DT 204, 2004; Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE-08); Fib Model Code, 2010; entre otras.

En España, las normas referentes al CRF se basan en las normas UNE, definen, clasificación y definición de fibras, elaboración y toma de muestras de concreto

fresco para ensayos de laboratorio, evaluación de tenacidad a compresión, resistencia a compresión, proporción de fibras, etc. (Ramos H, 2012).

2.2.1. INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE-08)

Norma española que dispone los requisitos de seguridad estructural y de incendio que cumplirán las estructuras de concreto, además de proteger el ambiente.

El Anejo 14 respecto a Concretos con Fibras, es un aporte de relevancia hacia el estudio del CRF, el cual establece recomendaciones específicas y complementarias para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco o endurecido cuando se usen fibras, las cuales pueden cambiar sus propiedades.

De acuerdo a esta norma los ensayos de resistencia a flexotracción del concreto se realizan en muestras prismáticas de ancho 150 mm, altura 150 mm y largo 600 mm, fabricadas, conservadas y ensayadas a los 28 días de edad conforme a UNE-EN 14651. Para evaluar la resistencia de rotura a flexotracción se ensayan tres o más muestras y se obtiene la media.

A nivel internacional, la normativa de referencia son las Normas Europeas:

2.2.2. UNE-EN 14889-1:2008

Fibras para concreto Parte 1: Fibras de acero – Definiciones, especificaciones y conformidad.

2.2.3. UNE-EN 14889-2: 2008

Fibras para concreto Parte 2: Fibras poliméricas–Definiciones, especificaciones y conformidad.

2.2.4. UNE 83515-AENOR (2010)

Esta norma define un ensayo para evaluar la resistencia a la fisuración, resistencia residual y tenacidad a tracción del CRF mediante el ensayo de doble punzonamiento (DPT) que consiste en aplicar compresión uniaxial a muestras de concreto ($150 \phi \times 150 H$, mm) mediante dos punzones de acero de 30 mm de altura y 37.5 mm de diámetro alineados encima y debajo de la muestra de ensayo.

2.2.5. ACI 544.1R - 96: 2002

Esta norma define CRF y concreto reforzado convencionalmente, aspectos de producción, desarrollo de tecnologías, aplicaciones, clasifica a las fibras en base a su composición (acero, vidrio, sintéticas y naturales), define sus propiedades como dimensiones y tolerancias, módulo elástico, resistencia a tracción, ductilidad, mezcla con el concreto, efectos de las fibras en el concreto (consistencia, resistencia a tensión y compresión, a la fisuración, al impacto, a la fatiga, a la abrasión, al fuego, módulo elástico, durabilidad, contracción, expansión y características térmicas).

El ensayo para esta norma consiste en aplicar flexión simple a una viga de 100 x 100 x 350 mm mediante la cual se obtiene parámetros que permiten calcular la carga de agrietamiento y tenacidad del CRF.

2.2.6. NBN B 15-238 (1995) ENSAYO BELGA

Este ensayo a flexotracción consiste en someter una viga de 150 x 150 x 600 mm biapoyada, a cargas puntuales aplicadas a los tercios de la luz, a partir del cual se calcula entre otros parámetros la resistencia residual a tracción y tenacidad integrando la gráfica carga-flecha, para evaluar al CRF (fig.28).

2.2.7. ASTM C1609/1609M (2012): Determinación de la tenacidad del concreto proyectado con fibras

Este ensayo se emplea para evaluar las características a flexión del concreto reforzado con fibras (CRF) mediante parámetros obtenidos de la gráfica carga-flecha, de ensayos de vigas cargadas en 3 o 4 puntos, esta curva permite evaluar la tenacidad de la viga y su magnitud es función de su geometría y del sistema de carga aplicado. La prueba de flexión se representa por la carga-deflexión (ASTM C1609); o entre carga-apertura de fisura (CMOD: Crack Mouth Opening Displacement) de una viga entallada (EN 14651).

La ASTM C1609/C1609M plantea el ensayo de vigas a flexión con cargas a los tercios de la luz; con dos tamaños de muestras de 100 x 100 x 350 mm y 150 x 150 x 500 mm, luz libre entre apoyos (L) de 300 y 450 mm respectivamente, la deflexión se mide en el centro de viga, y se dibuja la curva carga-deflexión. Se evalúa la carga post fisuración para deflexiones preestablecidas, en L/600 y L/150, que luego son convertidas a resistencias residuales.

La tenacidad se evalúa por el área limitada por la gráfica carga-deflexión y la abscisa de la deflexión para el valor de L/150.

2.2.8. UNE-EN 14651: 2007+A1: 2008 Ensayo para concreto con fibras metálicas.

La norma europea EN 14651 emplea vigas entalladas (corte referencial en la cara inferior), simplemente apoyadas, sometidas a carga central, mediante la cual por flexión se determina la resistencia a tracción del CRFA, límite de proporcionalidad y resistencia residual a tracción, a través de parámetros que consideran el comportamiento “post-pico”.

Este ensayo se establece para vigas de 150 x 150 x 600 mm entalladas (25mm). Sus ventajas son el fácil control mediante el desplazamiento la abertura de fisura (CMOD), la cual asegura una dispersión uniforme de la fisura. Las gráficas carga-CMOD, y carga-deflexión pueden usarse para determinar la relación entre esfuerzo y deformación, esfuerzo y ancho de fisura, importantes para determinar el efecto de la adición de fibras en el concreto.

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. CONCRETO

La norma NTP 339.047: 2014 (revisada 2019), define al concreto como una Mezcla de aglomerante y agregados fino y grueso. En el concreto tradicional el aglomerante es el cemento portland y el agua, pero además pueden contener adiciones y/o aditivos químicos.

2.3.2. AGREGADOS GENERALIDADES

El concreto está constituido por cemento, agua y agregado, el agregado ocupa aproximadamente 65% a 80% del volumen del concreto.

A pesar que el agregado es el componente que en mayor porcentaje aporta al concreto, el estudio de su importancia en las propiedades del concreto fue durante mucho tiempo desconocido. Hoy se conoce que el agregado influye en el comportamiento del concreto fresco o endurecido (Rivva López, 2004).

2.3.3. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

2.3.3.1. DUREZA

Resistencia a la erosión, abrasión, desgaste. La dureza del agregado depende de sus componentes, se determina exponiéndolo a procesos de desgaste por abrasión mediante el Método de Los Ángeles (ASTM C 131)

2.3.3.2. DENSIDAD

La densidad es función de la gravedad específica de los componentes sólidos y porosidad del agregado, es muy importante cuando por resistencia o durabilidad, se requieran concretos pesados o livianos respecto a concretos normales. (Rivva López, 2004)

2.3.3.3. POROSIDAD

Espacio vacío no ocupado por sólidos en los agregados. Se considera una importante propiedad física del agregado, ya que influye en otras propiedades de este, tales como el desempeño en proceso de congelación (Rivva López, 2004).

2.3.3.3.1. INFLUENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES

La porosidad del agregado influye en la reacción química con el concreto, en la estabilidad química, en las características térmicas, en la adherencia pasta-agregados, en los procesos de congelación y deshielo.

2.3.3.4. RESISTENCIA

La resistencia del concreto no será mayor que la de sus agregados. No obstante, la resistencia a compresión del concreto tradicional difiere mucho de la resistencia de los agregados, que son mayores a 1,000 kg/cm². (Rivva López, 2004)

2.3.3.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD

Es la resistencia del agregado a la deformación. Debido a que la deformación que presenta el concreto es en parte la deformación del agregado, mayor será el módulo elástico del concreto cuando mayor sea el de sus agregados, el módulo elástico influye en el escurrimiento plástico y en la contracción que presenta el concreto. (Rivva López, 2004)

2.3.3.6. PROPIEDADES TÉRMICAS

La expansión térmica, la conductividad térmica y el calor específico, son propiedades importantes del agregado, para determinar su calidad relacionada con las características del concreto. El calor específico y la conductividad térmica son importantes en concretos masivos en los que se debe controlar la elevación de temperatura y en concretos con aislamiento térmico (Rivva López, 2004).

2.3.3.7. INTEGRIDAD FÍSICA

Apariencia externa de solidez de las rocas, aunque internamente pueden estar fisuradas. Las grietas internas pueden ser microscópicas, pero aumentan la porosidad y absorción, reduciendo la resistencia y durabilidad del agregado, éstas se producen durante el chancado del agregado. (Rivva López, 2004)

2.3.3.8. ESTABILIDAD DE VOLUMEN

Resistencia del agregado a cambios de volumen al modificar sus propiedades físicas. No debe confundirse con expansión causada por reacción álcali-agregado. Los procesos que producen cambios excesivos de volumen son congelación y deshielo, humedecimiento y secado, calentamiento y enfriamiento.

2.3.3.9. TEXTURA SUPERFICIAL

Propiedad que refleja la textura interna, estructura y composición de sus partículas, resultante de procesos naturales o artificiales de impacto o abrasión a los que el agregado estuvo expuesto, esta depende de la dureza, tamaño del grano y porosidad del material inicial, así como de las fuerzas que han actuado sobre su superficie suavizándolo o dejándolo rugosas.

Esta propiedad es importante ya que la rugosidad del agregado, crea una textura superficial, que define la adherencia con la pasta. (Rivva López, 2004)

2.3.3.10. RESISTENCIA POR ADHERENCIA

La adherencia con la pasta es una propiedad importante del agregado, la textura superficial, al incidir en la resistencia por adherencia, es la que más influye en la resistencia del concreto (Rivva López, 2004)

2.3.3.11. PERFIL

El perfil del agregado esta dado por la presencia de planos de separación y clivaje que presentan las rocas, algunas poseen planos de fácil fractura y producen agregados angulares por fragmentación, otras definen su perfil por planos de separación formados por presiones de formación (Rivva López, 2004)

2.3.3.12. PESO UNITARIO

El peso volumétrico o peso unitario, suelto o compactado, es el valor que alcanza un determinado volumen unitario de agregado, en kg/m^3 , es necesario al tratar de agregados ligeros o pesados y para dosificación en volumen.

El peso unitario del agregado en concretos de peso normal (2200 y 2400 kg/m^3), comúnmente es de 1500 a 1700 kg/m^3 . (Rivva López, 2004)

2.3.3.13. PESO ESPECÍFICO

Se expresa también como densidad, es importante en concretos con requisitos de peso límite, es indicador de calidad, valores altos representan agregados de buen comportamiento, pesos específicos bajos, representan agregados absorbentes y débiles. (Rivva López, 2004)

2.3.3.13.1. DEFINICIONES

La Norma ASTM C 128 define tres formas de gravedad específica:

- a. **Peso Específico de masa**; relación entre la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluye poros permeables e impermeables) y la masa en el aire de un volumen igual de agua destilada.
- b. **Peso Específico de masa saturado superficialmente seco**; tiene igual definición que el peso específico de masa, pero la masa incluye el agua en los poros permeables.
- c. **Peso Específico Aparente**; relación entre la masa en el aire de un volumen unitario de material, y la masa en el aire de un volumen igual de agua destilada. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable. Para determinar el peso sólido, volumen absoluto y selección de las proporciones de la mezcla de concreto, se utiliza el peso específico de masa.

2.3.3.13.2. VALORES USUALES

El peso específico de masa de los agregados está de 2.6 a 3.0 gr/cm³.

2.3.3.14. PESO SÓLIDO

El peso sólido del agregado es el producto de su gravedad específica por la densidad del agua. Es el que tendría el material si se eliminaría los poros internos y externos, se utiliza para determinar el volumen absoluto o volumen de sólidos del agregado (Rivva López, 2004).

2.3.3.15. VOLUMEN ABSOLUTO

El volumen absoluto, o volumen de sólidos, es el espacio ocupado por las partículas del agregado sin vacíos internos o externos. (Rivva López, 2004)

2.3.3.16. CONTENIDO DE VACÍOS

Espacio no ocupado por partículas de agregado, su valor es la diferencia entre el volumen total de la masa de agregado y el volumen real ocupado por las partículas. (Rivva López, 2004)

2.3.3.16.1. DETERMINACIÓN

Los vacíos entre partículas de agregado se calculan mediante el peso unitario del agregado y la gravedad específica de su masa:

$\% \text{ Vacíos} = 100 (\text{Peso sólido} - \text{Peso unitario}) / \text{Peso sólido}$ (Rivva López, 2004).

2.3.3.17. HUMEDAD Y ABSORCIÓN

2.3.3.17.1. CONDICIONES DE HUMEDAD

Los agregados poseen vacíos internos “abiertos” accesibles a la humedad exterior sin ninguna presión y poros cerrados, en el interior, sin camino a la superficie a la que se accede a través de fluidos a presión.

La humedad del agregado puede estar dentro de las siguientes condiciones:

- a) Seco, cuando su superficie y poros internos están libres de agua. Es la condición teórica para la cual se determina el contenido de agregado antes de corregir por humedad.

- b) Semiseco, cuando la superficie del agregado está seca pero sus poros internos están parcialmente llenos. Es conocida como seco al aire, siempre es menor que la absorción del agregado.
- c) Saturado superficialmente seco, cuando la superficie del agregado está seca, pero el total de sus poros internos están llenos de agua. Es la condición ideal del agregado donde no aporta ni toma agua de la mezcla.
- d) Húmedo o mojado, cuando el agregado está saturado superficialmente seco y además presenta humedad superficial la cual incrementa el agua de mezclado y obliga a corregir por humedad del agregado (Rivva López, 2004).

2.3.3.17.2. ABSORCIÓN Y ABSORCIÓN EFECTIVA

Absorción es el contenido de humedad total interna del agregado saturado superficialmente seco, se calcula por incremento de peso de una muestra seca al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y secado superficial. Esta condición se supone presenta el agregado en el interior de la mezcla.

Absorción efectiva es el volumen de agua necesario para llevar al agregado de seco al aire, o semi seco, a saturado superficialmente seco (Rivva López, 2004).

2.3.3.17.3. HUMEDAD SUPERFICIAL

La humedad superficial o agua libre, es la diferencia entre el estado saturado o húmedo y el estado saturado superficialmente seco, es la humedad con la que contribuirá el agregado al agua de mezcla. (Rivva López, 2004)

2.3.3.17.4. CONTENIDO DE HUMEDAD

En la dosificación del concreto se supone el agregado en condición saturado superficialmente seco, es decir, con todos sus poros accesibles llenos de agua y libre de humedad superficial.

El agregado saturado superficialmente seco no absorbe ni cede agua a la mezcla, el agregado parcialmente seco absorbe agua, el agregado mojado, superficialmente húmedo, cede agua a la mezcla, por lo que se debe corregir el contenido de agua, para obtener el correcto.

El contenido de humedad del agregado es la diferencia entre el estado actual húmedo y el estado seco del mismo (Rivva López, 2004).

2.3.3.17.5. APORTE DE HUMEDAD DEL AGREGADO

El aporte de agua de mezcla positivo o negativo es la diferencia entre el contenido de humedad y el porcentaje de absorción del agregado (Rivva López, 2004)

2.3.3.18. ESPONJAMIENTO

Aumento de volumen del agregado fino, debido a la separación entre partículas causada por la humedad superficial, este incremento significa cambios en el peso del agregado para un volumen dado, o viceversa, así como incremento del porcentaje de vacíos (Rivva López, 2004).

2.3.3.19. GRANULOMETRÍA

Distribución de partículas de agregado de acuerdo a su tamaño. Se logra mediante procedimientos mecánico utilizando tamices estándar.

2.3.3.19.1. GRANULOMETRÍA IDEAL

No existe un método para obtener una granulometría ideal para los agregados. Sin embargo, se han definido especificaciones granulométricas que permiten obtener concretos con propiedades satisfactorias a partir del material disponible.

2.3.3.19.2. FORMAS DE EXPRESIÓN

La granulometría del agregado fino se expresa como porcentaje retenido en los tamices ASTM N.º 4, N.º 8, N.º 16, N.º 30, N.º 50, N.º 100 y N.º 200.

La granulometría del agregado grueso se expresa como porcentajes retenidos en los tamices ASTM 1 1/2"; 1"; 3/4"; 1/2"; 3/8"; N°4 y mayores (Rivva López, 2004)

2.3.3.19.3. FORMAS DE DETERMINACIÓN

La distribución de partículas de agregado por tamaños se determina vibrando una muestra representativa a través de una serie de tamices estándar.

Los valores obtenidos se registran en tablas incluyen:

- Peso retenido en cada tamiz
- Porcentaje retenido en cada tamiz
- Porcentaje acumulado retenido o que pasa cada tamiz (Rivva López, 2004).

2.3.3.19.4. CURVA GRANULOMÉTRICA

La curva granulométrica muestra la granulometría del agregado individual o combinado. La escala logarítmica es importante ya que para tamices con relación constante de abertura el espaciamiento logarítmico es igual.

Los puntos resultantes del análisis granulométrico se unen para formar la curva granulométrica del agregado. (Rivva López, 2004)

2.3.3.19.5. GRANULOMETRÍA CONTINUA Y DISCONTINUA

La granulometría continua que posee tamaños de partículas del más fino al más grueso siguiendo una relación uniforme, es la más adecuada, no deseando que cada tamiz retenga porcentajes iguales (Rivva López, 2004)

2.3.3.19.6. REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO

Suficiente cantidad de agregado fino debe pasar el tamiz N.º 50 para obtener una mezcla trabajable. En pastas ricas en material cementante, esta cantidad puede disminuir, pastas pobres requieren mayor cantidad de finos.

El material máximo deseable que pase el tamiz N.º 100 debe ser 3% a 5%.

Cuando se emplee agregado fino con importante cantidad de partículas en el tamiz N.º 4 y N.º 8, el agregado grueso debe contener poco material de tamaño mayor a las partículas de agregado fino, para evitar concretos ásperos, granulosos, de difícil acabado. (Rivva López, 2004)

2.3.3.20. MÓDULO DE FINEZA

Índice del mayor o menor tamaño del conjunto de partículas de agregado, es igual a la suma de porcentajes acumulados retenidos en los tamices 3"; 1 1/2"; 3/4"; 3/8"; N.º 4; N.º 8; N.º 16; N.º 30; N.º 50; y N.º 100, entre 100. (Rivva López, 2004)

2.3.3.20.1. APLICACIONES Y LÍMITES

El módulo de fineza comúnmente se calcula para agregado fino, para agregado grueso puede ser necesario en algún método de dosificación de mezcla.

Agregados con módulo de fineza bajo, contienen partículas más finas con alta superficie específica total, que es necesario cubrir con pasta.

2.3.3.21. SUPERFICIE ESPECÍFICA

El área superficial de una partícula de agregado, es el área superficial de la misma, así para un conjunto de partículas será la suma de las áreas superficiales de las mismas. Se expresa en cm^2/gr .

Cuando mayor sea la superficie específica mayor será el área superficial a cubrir con pasta de cemento y menor el diámetro de las partículas, se obtiene dividiendo, para cada tamiz, el porcentaje retenido entre el diámetro medio

2.3.4. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

2.3.4.1. POR SU TAMAÑO

Se clasifican en Agregado Fino y Agregado Grueso.

2.3.4.2. AGREGADO FINO

Es aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de rocas, pasa el tamiz 9,5 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz 74 μm (N.º 200); cumple los límites de la NTP 400.037: 2018, respecto a, gradación, Sustancias deletéreas e inalterabilidad. (NTP 400.037:2018)

2.3.4.3. AGREGADO GRUESO

Es aquel retenido en el tamiz 4,75 mm (N.º 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, cumple con los límites establecidos en NTP 400.037: 2018, respecto a características, gradación, sustancias deletéreas, inalterabilidad, índice de espesor y resistencia mecánica. (NTP 400.037:2018)

TAMAÑO MÁXIMO

Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso (NTP 400.037:2018)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

Corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre 5 % y 10 % (NTP 400.037:2018)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no será mayor de:

- a) 1/5 de la menor separación entre lados del encofrado.
- b) 1/3 de la altura de la losa.

3/4 del espaciamiento mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

2.3.4.4. AGUA

El agua utilizada en la elaboración de concreto con cemento portland, cumplirá los requerimientos de la Norma NTP 339.088: 2014 (revisada 2019)

2.3.4.5. CEMENTO

El cemento utilizado en la elaboración de concreto debe cumplir lo siguiente.

- a) Cementos portland Tipo I, II o V: Norma NTP 334.009: 2013; o ASTM C 150.
- b) Cementos portland adicionados Tipo IP y I(PM): Norma NTP 334.090:2013 o ASTM C 595.

Una bolsa de cemento tiene 1 pie³ de volumen y 42.5 kg de peso. Cuando se desconozca su valor real se estima un peso específico de 3.15 gr/cm³

2.3.4.6. ADITIVOS

Componente del concreto adicionado para modificar alguna de sus propiedades

Los aditivos incorporadores de aire cumplirán la NTP 334.089 o ASTM C 260.

Los aditivos reductores de agua, retardantes, acelerantes, cumplirán la NTP 334.088 o ASTM C 1017M.

La escoria molida granulada de alto horno utilizada como aditivo cumplirá la ASTM C 989.

Las cenizas volantes y puzolanas que se utilicen como aditivos cumplirán la NTP 334.104

La microsílíce utilizada como aditivo cumplirá la NTP 334.087. (NTE E. 060)

2.3.5. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Al seleccionar las proporciones del concreto se debe obtener concretos con facilidad de colocación, resistencia, densidad, durabilidad u otras propiedades importantes para la cual la mezcla se diseñará (Rivva López, 2010)

2.3.5.1. TRABAJABILIDAD

Propiedad del concreto fresco la cual determina su facilidad de manipulación, transporte, colocación y compactación apropiada, con mínimo trabajo y máxima homogeneidad; así como ser acabado sin que presente segregación.

2.3.5.2. CONSISTENCIA

Propiedad que define la humedad de la mezcla por su grado de fluidez; es decir cuanto más húmeda sea la mezcla mayor será su fluidez durante su colocación.

Las Normas Alemanas clasifican al concreto en función de la consistencia, en tres: concretos consistentes o secos, concretos plásticos, concretos fluidos.

Los norteamericanos clasifican al concreto por el asentamiento de la mezcla fresca, empleando el ensayo del cono de Abrams, o método de slump, el cual define el asentamiento medido en milímetros o pulgadas, de la mezcla de concreto previamente colocada en un molde metálico de dimensiones definidas, como la diferencia entre la altura el molde y la masa de concreto luego de retirar el molde. Actualmente hay una relación entre la Norma Alemana y los criterios norteamericanos. Considerando que:

- Consistencia seca corresponden asentamiento de 1" a 2" (25 a 50 mm)
- Consistencia plástica corresponden asentamiento de 3" a 4" (75 a 100mm)
- Consistencia fluida corresponden asentamiento de 6" a 7" (150 a 175 mm)

(Rivva López, 2010)

2.3.5.3. RESISTENCIA

Esfuerzo máximo que puede soportar el concreto antes de fallar, es considerada una de las más importantes propiedades del concreto endurecido. Debido a que el concreto está diseñado a soportar esfuerzos de compresión, es la medida de resistencia a estos esfuerzos la que se utiliza como índice de calidad para su aceptación o rechazo.

Conforme a Abrams, el factor que influye de manera decisiva en la resistencia del concreto es la relación agua/cemento de la mezcla, siendo mayor la resistencia conforme dicha relación decrece (Rivva López, 2010).

2.3.5.3.1. Determinación de resistencia a compresión del concreto, en muestras cilíndricas (NTP 339.034:2015)

Consiste en aplicar esfuerzos de compresión axial a muestras moldeadas o testigos hasta que ocurra la falla. La resistencia a compresión de la muestra se calcula dividiendo la carga máxima, entre el área de la sección de la muestra, empleando la ecuación.

$$f'_c = \frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi \cdot D^2} \dots (2.1)$$

Donde:

f'_c = Resistencia a rotura por compresión en kg/cm²

P = Carga axial máxima aplicada a la muestra al momento de fallar, en Kg.

A = Área de la sección transversal de la muestra, en cm².

D= Diámetro promedio de muestra, en cm.

2.3.5.3.2. Tipos de patrones de fractura en el ensayo de compresión axial (fig. 29)

2.3.5.4. DURABILIDAD

Concreto durable es aquel que resiste satisfactoriamente, las condiciones de exposición a las que está expuesto. Los factores que atentan contra la durabilidad del concreto son: procesos de congelación y deshielo, humedecimiento y secado; calentamiento y enfriamiento; acción de agentes químicos cloruros y sulfatos, y de aditivos descongelantes (Rivva López, 2010)

2.3.5.5. DENSIDAD

En algunos casos, la dosificación de mezclas de concreto debe efectuarse principalmente para obtener alta densidad. Así utilizando agregados especiales, puede obtenerse concretos trabajables con pesos unitarios de 5600 kg/ m³.

2.3.5.6. GENERACIÓN DE CALOR

Un factor importante en la dosificación de concretos masivos es la magnitud de la estructura en la cual serán utilizados, esto debido a que al emplear grandes volúmenes de concreto se debe tomar precaución para controlar el calor generado

por hidratación del cemento, con resultantes cambios de volumen en la masa de concreto y aumento de riesgo de fisuración. (Rivva López, 2010)

2.3.5.7. ELASTICIDAD

El concreto no es un material perfectamente elástico, la relación esfuerzo-deformación para una carga en incremento constante tiene forma de curva. El Módulo de Elástico es la relación entre esfuerzo-deformación medida en el punto donde la línea se aparta de la recta y empieza a ser curva.

2.3.5.8. ESCURRIMIENTO PLÁSTICO

El concreto al estar expuesto a carga constante, la deformación causada es dividida en dos partes: deformación elástica, ocurre al instante y desaparece totalmente cuando se retira la carga, y escurrimiento plástico que se desarrolla gradualmente resultando en acortamiento o alargamiento que ocurre en la estructura de concreto por efecto de solicitaciones uniformes y constantes de compresión y tracción respectivamente (Rivva López, 2010)

2.3.5.9. DILATACIÓN TÉRMICA

Las propiedades térmicas del concreto son importantes respecto a mantener cambios mínimos de volumen.

La conductividad térmica es la velocidad del calor para transmitirse a través del concreto cuando hay variación de temperatura en las dos caras, se utiliza, en relación con el calor específico y la densidad para determinar el coeficiente de difusividad, el cual es un índice de facilidad del concreto para soporta cambios de temperatura. (Rivva López, 2010)

2.3.6. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF)

Los concretos reforzados con fibras (CRF), son aquellos que contienen fibras cortas, discretas aleatoriamente distribuidas en su masa.

El uso de fibras puede ser con fin estructural o no estructural, tendrá función estructural cuando su aporte se utilice en el cálculo relativo a alguno de los estados límite último o de servicio e implica la sustitución total o parcial del refuerzo, no tendrán función estructural, cuando su adición al concreto sea para aumentar la resistencia al fuego o fisuración. (anejo 14 de la EHE: 2008)

Aunque hay importante desarrollo del CRF, se desconoce la historia de este material de construcción.

Desde inicios del siglo XIX, el concreto se ha desarrollado ampliamente, sin embargo, se mantiene como material frágil, resistente a fuerzas de compresión, pero débil a tracción. La incorporación de acero de refuerzo a fines del siglo XIX, fue un importante avance en la historia del concreto, llevándolo a una variedad de aplicaciones. El concreto pretensado fue introducido a finales de 1920. Desde entonces, el mayor avance ha sido la inclusión del CRF, desde el año 1960 (Aire C et al. 2013)

Las fibras proporcionan al concreto ductilidad para absorber energía antes de fallar, incrementan la resistencia a fisuración, resistencia residual postfisuración, resistencia a la deformación, a tracción, flexión, impacto y durabilidad.

Se elegirá fibras con alto módulo elástico que puedan mezclarse fácilmente con el concreto para obtener los requisitos estructurales. Las fibras de acero cumplen estos requisitos y tiene probada aplicación en el concreto.

Actualmente se ha desarrollado numerosa investigación respecto al conocimiento del CRF y sus aplicaciones, pero, aún no se reconoce su aporte estructural. Un importante aporte hacia el estudio del CRF ha sido el *Anejo 14 respecto a Concretos con Fibras de la Instrucción Española Estructural EHE 2008*.

Si bien es un aporte muy importante en el empleo de concreto con fibras, este debe estudiarse con mayor profundidad, para generar conocimiento hacia la incorporación de estos concretos en obras. (Aire C et al. 2013)

Recientemente se ha avanzado en su evaluación mecánica respecto a resistencia residual y energía de absorción, se han desarrollado especificaciones y ensayos específicos de prueba para el CRF (Blanco et al., 2010), que han incrementado la confianza de uso como solución estructural. (Serna et al., 2009)

2.3.7. FIBRAS

Las fibras son elementos de corta longitud y sección pequeña que se incluyen al concreto para concederle propiedades específicas.

Se clasifican en fibras estructurales, aquellas que proveen mayor energía de rotura al concreto simple y su aporte se considera en la respuesta del concreto, o fibras no estructurales, aquellas cuya energía mejora ciertas propiedades control de fisuración por retracción, resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

Las características geométricas de las fibras, Longitud (l_f), Diámetro equivalente (d_f), Esbeltez (λ), se establecen según UNE 83500-1, 2 (Anejo 14 de la EHE: 2008). El cociente entre longitud (l_f) y *diámetro equivalente* (d_f), se denomina **esbeltez**, es importante ya que mantiene relación directa con la mejora de las propiedades del concreto. Los valores comunes están de 30 a 150, pero no es recomendable pasar de 100, debido a los inconvenientes que conllevaría. A mayor esbeltez, se utilizará menor dosificación de fibras. (Puig Becerra. C, 2011)

2.3.7.1. CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS

Según su naturaleza las fibras se clasifican en:

- **Fibras de acero**
- **Fibras poliméricas**
- **Otras fibras inorgánicas**

La eficiencia de las fibras puede medirse a través de la energía de rotura, en Julios (J), que se evalúa para concreto moldeado conforme a la norma UNE 83510. Con el fin de disminuir la variación y tiempo de ensayo, se valorará, el uso de otros métodos, como ensayo Barcelona, que emplea muestras cilíndricas de 15x15 cm. (Anejo 14 de la EHE: 2008)

El comportamiento y propiedades de las fibras que aportan al concreto dependen del volumen aportado y de las características propias de estas.

La tabla 2 muestra las diferencias entre propiedades del concreto y tipo de fibra, en especial la resistencia a tracción y módulo elástico.

Para que las fibras sean eficientes es necesario tengan módulo elástico 3 veces mayor al del concreto. (Naaman, A.E. 2003). En ese sentido, destaca el módulo elástico de las fibras de acero, que es 7 veces mayor al del concreto, por ello las fibras de acero son las más usadas para obtener concretos resistentes a flexión, tracción, impacto, fatiga, etc.

La investigación se centra en CRFA, por esta razón se hará más énfasis en fibras de acero.

Tabla 2 – Propiedades de las fibras. (Fernández Cánovas, 2003)

Tipo de fibra	Resistencia a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Densidad (kg/m ³)	Alargamiento de rotura (%)
Acero	500-3000	210	7800	3,5
Acero inoxidable	2100	160	7860	3
Vidrio	2000	60	2700	3,6
Carbono	3000	200-500	1900	0,5
Nylon	900	4	1100	13,0 -15,0
Polipropileno	400 - 800	5 - 25	900	8,0 - 20,0
Poliéster	700 - 900	8,2	1400	11,0 - 13,0
Hormigón	5 - 8	30	2300	-

2.3.7.1.1. FIBRAS DE ACERO

Estas fibras deben ser conforme con UNE 83500-1, según su proceso de elaboración se clasifican en: trefiladas (Tipo 1), cortadas en láminas (Tipo II), extraídas por rascado en caliente (virutas de acero) (Tipo III) u otras (fibras de acero fundido) (Tipo IV). La geometría de la fibra incide en la adherencia fibra-concreto, siendo muy diversa: rectas, onduladas, corrugadas, con extremos conformados, etc. (Anejo 14 de la EHE: 2008).

Se recomienda una longitud de fibra (l_f), mínimo, 2 veces el tamaño del agregado grueso, menor a 2/3 del diámetro de la tubería de bombeo. Es común emplear longitudes de 2.5 a 3 veces el tamaño máximo del agregado. Sin embargo, la longitud de fibra debe ser suficiente para dar adherencia al concreto y evitar desprendimientos con facilidad.

A igual longitud, fibras de pequeño diámetro aumenta el número de ellas por unidad de peso haciendo más denso el entramado o red de fibras, reduciendo el espaciamiento, haciéndolo más eficiente y generando mejor distribución de esfuerzos. (Anejo 14 de la EHE: 2008)

2.3.7.1.2. FIBRAS POLIMÉRICAS

Las fibras plásticas están elaboradas de material polimérico (polipropileno, polietileno de alta densidad, aramida, alcohol de polivinilo, acrílico, nylon, poliéster) extrusionado y cortado. Estas pueden ser incluidas al concreto, mortero o pasta. Se rigen por la norma UNE 83500-2 y según el proceso de fabricación se clasifican en: monofilamentos extruidos (Tipo 1), láminas fibriladas (Tipo II).

Sus dimensiones, diámetro y forma son variables:

Micro-fibras: diámetro < 0.30 mm

Macro-fibras: diámetro \geq 0.30 mm

Las macro-fibras pueden aportar estructuralmente, su longitud varía de 20 a 60 mm, deben guardar relación de 3:1 con el tamaño máximo del agregado.

Las micro-fibras son usadas para disminuir la fisuración por retracción plástica del concreto en pavimentos, pero no asumen ninguna función estructural. Mejoran la resistencia al fuego, siendo necesario que el número de fibras por kg sea elevado.

(Anejo 14 de la EHE: 2008)

2.3.7.1.3. OTRAS FIBRAS INORGÁNICAS

Fibras de vidrio

Este tipo de fibras se utilizará si se garantiza un comportamiento adecuado durante la vida útil de la estructural, respecto a los problemas de deterioro de este tipo de fibras a causa de la alcalinidad del medio. (Anejo 14 de la EHE: 2008)

2.3.8. COMPONENTES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

Los CRFA están formados principalmente por los mismos materiales del concreto normal más fibras de acero. La adición de fibras, altera las características del concreto fresco y endurecido, por lo que algunos componentes requieren condiciones que en concretos normales no son necesarias.

Conforme a la cantidad y geometría de las fibras adicionadas al concreto, el material compuesto será modificado respecto del concreto normal, en el tamaño máximo del agregado, menor relación grava/arena, mayor cantidad de aditivos reductores de agua, y mayor demanda de finos (Mármol P, 2010)

Tabla 3 – Intervalo de proporciones para un CRFA (ACI Committee 544 1R-96, 2009)

Componentes de la mezcla	Tamaño máximo de árido (mm)		
	10	20	40
Cemento (kg/m ³)	350-600	300-530	280-415
Agua-Cemento	0.35 - 0.45	0.35 - 0.50	0.35 - 0.55
% árido fino-grueso	45 - 60	45 - 55	40 - 55
% árido ocluido	4 - 8	4 - 6	4 - 5
Fibras conformadas (Vf %)	0.4 - 1.0	0.3 - 0.8	0.2 - 0.7
Fibras planas (Vf %)	0.8 - 2.0	0.6 - 1.6	0.4 - 1.4

2.3.8.1. CEMENTO

Componente fundamental en la trabajabilidad del concreto fresco, y en las propiedades mecánicas del concreto endurecido. Se puede utilizar cualquier cemento que cumpla los requisitos para un concreto normal, siempre que proporcione al concreto las características requeridas.

Cuanto mayor sea el contenido de fibras y menor el tamaño máximo del agregado, se requiere más cantidad de cemento a fin de generar más pasta (Mármol P, 2010)

2.3.8.2. AGUA

Se utilizará agua que cumpla los requisitos para concretos normales armados, teniendo especial cuidado con los agentes que podrían afectar las fibras.

La pérdida de trabajabilidad debido al uso de fibras debe compensarse con aditivos reductores de agua, sin modificar el agua inicial (Anejo 14 de la EHE 2008)

2.3.8.3. AGREGADOS

Además de cumplir los requisitos para concretos normales, los agregados deben tener tamaños, granulometría y perfil adecuado para elaborar un CRFA.

Se debe usar de preferencia agregado redondeado, principalmente la arena ya que, para una relación agua/cemento dada, proporcionan mayor trabajabilidad que los agregados chancados. Por esto, se debe añadir mayor cantidad de finos en el CRFA que en los concretos normales, con el fin de compensar la pérdida de trabajabilidad causada por la inclusión de fibras. (Blanco A, 2008)

La posibilidad de movimiento de las fibras es función de la dosificación y tamaño máximo de agregado grueso (fig. 30). Cuanto mayor sean estos dos factores, menor será la posibilidad de movimiento de las fibras (Hannant, D. J 1978). La Japan Society of Civil Engineers indica que el tamaño máximo óptimo del agregado debe ser menor a la mitad de la longitud de fibra.

Agregados de tamaño máximo superior a 20 mm no son recomendables, aunque en algunos estudios empleando agregado de 38 mm se obtuvieron resultados satisfactorios (ACI 544.3R-08, 2008). Es recomendable que el tamaño máximo del agregado no supere:

- 2/3 de la longitud máxima de la fibra.
- 1/5 del lado menor del elemento.
- 3/4 de la longitud entre barras de armado.

2.3.8.4. ADITIVOS

Al incluir fibras al concreto en alta dosificación, se reduce la trabajabilidad. Con el fin de no agregar agua y afectar la resistencia y durabilidad, se utilizan aditivos reductores de agua y retardantes (Mármol P, 2010)

Cuando se utilice fibras metálicas, el ion cloruro total aportado por los componentes no excederá 0.4% del peso del cemento (Anejo 14 de la EHE: 2008)

2.3.8.5. ADICIONES

Las adiciones comúnmente utilizadas en CRFA son puzolanas naturales, cenizas volantes, humo de sílice. La inclusión de estas sustancias reduce la permeabilidad del concreto, mejora la cohesión de los componentes y la adherencia fibra-matriz, controla la retracción, disminuye la posibilidad de segregación, aumenta la durabilidad, y en concretos proyectados, disminuye el rebote.

2.3.8.6. FIBRAS DE ACERO

La eficiencia fibras-matriz, requiere en las fibras las propiedades siguientes: (Naaman, A.E 2000)

- Resistencia a tracción considerablemente superior a la del concreto.
- Adherencia fibra-matriz mayor o igual a la resistencia a tracción de la matriz.
- Módulo de elástico considerablemente superior al del concreto.

Para volumen de fibras menores a 0.5% y esbeltez menor a 50, el aumento de resistencia a rotura por flexotracción es insignificante (ACI 544.4R-88, 2009). Por lo que, se requiere una cantidad mínima de fibras, que será menor conforme mejore la adherencia y esbeltez de las fibras (Hannant, D. J 1978)

El efecto de las fibras en las etapas de fisuración del concreto se muestra en dos escalas: material y estructural, al iniciar la fisuración, las fibras cosen las fisuras activas evitando su desarrollo, incrementan la resistencia y ductilidad a escala material, en la fase de extensión de las macrofisuras, las fibras cosen las fisuras aportando mayor resistencia y ductilidad a escala estructural. (Rossi, P., 2000).

Para que las fibras actúen en las microfisuras, se incorporará gran número de ellas con menor diámetro. La trabajabilidad del concreto, relacionada con la esbeltez

(l/d), hace preferir fibras cortas. En cambio, para restringir las macrofisuras se requiere fibras lo suficiente largas para anclar perfectamente en la matriz, y por requisitos de trabajabilidad las fibras largas se usarán en menor proporción que las cortas (Rossi, P., 2000)

En general las fibras pueden presentar diferente sección transversal, desde las más comunes como las circulares, hasta secciones irregulares (fig. 31).

Debido a que adherencia fibra-matriz es uno de los factores más influyentes en el comportamiento del CRF, los fabricantes de fibras han modificado su forma geométrica, así se tienen las siguientes formas (fig. 32).

2.3.8.7. FIBRAS DE ACERO DRAMIX.

Las fibras de acero Dramix son elaboradas de alambre de acero trefilado en frío para garantizar alta resistencia a tracción, sus extremos conformados ofrecen anclaje perfecto en el concreto, su diseño basado en el equilibrio de resistencia a tracción del alambre y resistencia a la deformación de sus anclajes proporcionan un comportamiento eficaz, la precisión de sus dimensiones permite dosificaciones óptimas, el sistema de fibras encoladas aseguran una distribución uniforme en el concreto para fibras de mayor esbeltez (Prodac-Bekaert)

2.3.8.7.1. Gama de Fibras de Acero Dramix

Las fibras Dramix de alta esbeltez (longitud/diámetro) proporcionan amplia red de fibras, aumentan la ductilidad del concreto ofreciendo altos niveles de performance, como refuerzo estructural del concreto en pavimentos, prefabricados, shotcrete y estructuras que requieren CRFA.

Las actuales fibras de acero Dramix han sido renombradas como la serie 3D, ampliamente conocida por su rendimiento. Ahora, las dos nuevas series 4D y 5D, ofrecen un refuerzo con fibra de acero de nivel superior, anclaje, resistencia a tracción y ductilidad óptimos que garantizan máximo rendimiento, permitiendo emplear el CRFA en nuevas aplicaciones (Prodac - Bekaert).

2.3.8.7.2. CARACTERÍSTICAS.

- Norma de Elaboración EN 14889-1, Sistema 1 (Uso Estructural).
- Elementos de alambre estirado en frío, cortados y deformados.
- Acero de bajo y alto contenido de carbono.

- Alta precisión en sus dimensiones.
- Presentación en fibras sueltas y encoladas.
- Las fibras de acero Dramix disponen de Certificación Europea, para fibras estructurales conforme a la norma EN 14889-1, Sistema 1 (Prodac - Bekaert).

2.3.8.7.3. TIPOS DE FIBRA DRAMIX

2.3.8.7.3.1. FIBRAS DE ACERO DRAMIX 3D

Es una solución de refuerzo para losas industriales, con requisitos de cargas puntuales y dinámicas, ofrecen óptimo rendimiento y durabilidad, comparadas con el refuerzo de varilla de acero que son más lentas y caras (Prodac - Bekaert).

2.3.8.7.3.2. APLICACIONES Y USOS

Las fibras Dramix se emplean en:

- Pisos ligeros e industriales.
- Losas para carga pesada (puertos, muelles, centros de producción)
- Aeropuertos (pistas de aterrizaje, estacionamiento y hangares).
- Losas de alta planimetría y entrepisos para placas colaborantes
- Elementos prefabricados de concreto.
- Refuerzo del shotcrete en túneles viales e hidráulicos, obras subterráneas, estabilización de taludes
- Revestimientos adheridos (Prodac - Bekaert). (fig.33)

2.3.8.7.3.3. FIBRAS DE ACERO DRAMIX 4D

Las fibras de acero Dramix 4D son diseñadas para un control perfecto de fisuras, centrándose en obtener fisuras más finas de 0.1 a 0.3 mm. Se consiguen losas de alta durabilidad y solidez en aplicaciones donde la higiene y seguridad ambiental son prioritarias con requisitos especiales (Prodac- Bekaert.com).

2.3.8.7.3.4. APLICACIONES Y USOS

Al emplear fibras de acero Dramix puede sustituirse el refuerzo tradicional, aumentar la capacidad de carga, ahorro de 20% a 30% en mano de obra respecto al costo total de la obra, en la partida de habilitación e instalación del acero. Son ideales para:

- Pavimentos estructurales en Estado Límite de Servicio.

- Vías en Placa (tipo de vía férrea sobre placa de concreto).
- Refuerzo Secundario.
- Pavimentos Rígidos.
- Pavimento con gran capacidad funcional
- Concreto Sumergido.
- Losas continuas, losas herméticas a líquidos, losas finas sin juntas (renovación), losas recubiertas (Prodac - Bekaert) (fig.34)

2.3.8.7.4. VENTAJAS

Efectos favorables que la inclusión de fibras de acero produce en el concreto:

- Debido al alto rendimiento de fibras de acero Dramix, la proporción por m³ es menor, reduciendo costos en la obra.
- Refuerzan las propiedades del concreto aumentando la resistencia al impacto, fatiga, tracción, flexotracción, fisuración, aumento de la durabilidad, ahorro de concreto al reducir el espesor de la losa.
- Reducción de la deformación bajo cargas permanentes.
- Refuerzo multidireccional uniforme en el concreto.
- Menor tiempo de construcción, al no tener que habilitar acero tradicional.
- Mayores distancias entre juntas aumentándose considerablemente.
- Aumento de ductilidad y absorción de energía (tenacidad).
- Reducción de la fisuración por retracción plástica.
- Reemplaza el refuerzo tradicional (malla electrosoldada).
- Fácil aplicación y almacenamiento.
- Menor costo de operación.
- Dramix cumple las normas mundiales más exigentes para uso estructural: Sello CE, Clase 1, norma ISO 9001, ISO 14001, ISO 1327(Bekaert).

presentación

- Bolsas de 20 kg, Big Bag de 800 y 1100 kg.

Especificaciones técnicas.

Tabla 4 – Especificaciones técnicas de fibras de acero Dramix utilizadas (Bekaert).

Tipo de Fibra	Dramix 3D 80/60BG	Dramix 3D 65/60BG	Dramix 4D 55/60BG	Dramix 3D 45/35BL
Longitud (l)	60 mm	60 mm	60 mm	35 mm

Diámetro (d)	0.75 mm	0.90 mm	1.05 mm	0.75 mm
Relación de Esbeltez (l/d)	80	65	55	45
Resistencia a la Tracción	1225 N/mm ²	1160 N/mm ²	1500 N/mm ²	1225 N/mm ²
Módulo de young	± 210000 N/mm ²			
Dosificación mínima (*)	10 kg/m ³	15 kg/m ³	20 kg/m ³	30 kg/m ³
Red de fibra	4584 Fibras/kg	3183 Fibras/kg	2339 Fibras/kg	7800 Fibras/kg
Presentación de las fibras	Encolada	Encolada	Encolada	Suelta

(*) Dosificación Mínima según Certificación Europea acorde con EN 14889-1

Ver ficha técnica para cada denominación en el anexo 04

2.3.9. ELABORACIÓN DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

2.3.9.1. DOSIFICACIÓN DEL CRFA

La máxima eficiencia de las fibras de acero está dada por una correcta dosificación de los materiales, aunque no hay un método de dosificación definido para CRFA. Por lo común se toma como referencia la dosificación del concreto tradicional, haciendo ciertas modificaciones para mejorar la reducción de trabajabilidad y la dispersión homogénea de las fibras. (Blanco A, 2008).

Cuando no se especifique un contenido mínimo de fibras, es recomendable utilizar dosificaciones mayores a 20kg/m³, cuando estas cumplan función estructural.

La elección del tipo y cantidad de fibras depende de su eficacia e incidencia en la trabajabilidad del concreto. La longitud máxima debe cumplir los requisitos del Anejo 14 de la EHE: 2008. El incremento de esbeltez y alta proporción de fibras aumenta su eficiencia mecánica, pero producen disminución de trabajabilidad y riesgo de enredo de fibras que separan del concreto (erizos).

La máxima cantidad de fibras es 1.5% del volumen de concreto. El uso de proporciones altas exige modificar los componentes del concreto. Para esto se debe consultar bibliografía especializada.

Las fibras se dosificarán en peso, utilizando balanzas y escalas diferentes a las utilizadas para agregados. Cuando se emplee dosificadores automáticos, estos deben estar tarados con la frecuencia que indica el fabricante (Anejo 14 de la EHE: 2008).

Para cantidades bajas de fibras añadidas (20-30 kg/m³), el CRFA puede trabajarse sin modificación alguna, respecto a los requisitos definidos para un concreto tradicional (Mármol P, 2010).

2.3.9.2. MEZCLADO DEL CRFA

El mezclado del CRFA es una fase crítica, por el riesgo de formación de erizos. Este riesgo disminuye con una adecuada proporción de agregado fino, pero se incrementa con un transporte excesivo, contenido de fibras alto y muy esbeltas. El orden de llenado puede ser determinante, las fibras deben incorporarse junto a los agregados, de preferencia, el agregado grueso al inicio del mezclado, no recomendando las fibras como primer integrante de la mezcla.

Cuando se tenga un transporte excesivo puede adicionarse las fibras de acero en obra, para ello el concreto debe ser suficiente fluido para facilitar el recorrido de las fibras hasta el fondo de la cuba, y disponer en obra un sistema de dosificación que asegure la precisión expresa en la EHE 2008. La adición de fibras debe ser lento de 20 a 60 kg/minuto con la cuba girando a velocidad máxima para asegurar una dispersión uniforme de fibras en el concreto (Anejo 14 de la EHE: 2008).

2.3.9.3. CONSISTENCIA DEL CRFA

La inclusión de fibras al concreto puede reducir la trabajabilidad, cuya magnitud depende del tipo, longitud y cantidad de fibras utilizadas. Este factor es importante al requerir la consistencia del concreto en caso de inclusión de fibras en obra.

En concretos con fibras, la consistencia no debe ser menor a 9 cm de asiento en el cono de Abrams (UNE-EN 12350-2: 2009, ASTM C143/C143M-09), si bien es función de la aplicación y sistema de puesta en obra, el ensayo del cono de Abrams es inadecuado y debe evaluarse la consistencia con los ensayos de la norma UNE EN 12350-3 o UNE 83503 (Anejo 14 de la EHE: 2008).

Los métodos dinámicos para evaluar la consistencia del CRFA, son: el Tiempo de Flujo en el Cono Invertido (UNE 83503:2004), el Consistómetro Vebe (UNE-EN 12350-3:2009) y el Manejabilímetro (NF P18-455:2003).

En la Figura 35 se observa, para un mismo asentamiento en el Cono de Abrams, el tiempo requerido de vibrado en el Cono Invertido para el CRFA es menor que para un concreto tradicional (fig. 35).

La Figura 36 y 37 muestran la influencia del contenido y esbeltez de fibras, tamaño máximo de agregado en la consistencia medida con el Consistómetro VeBe.

2.3.9.4. PUESTA EN OBRA DEL CRFA

El vaciado del concreto debe ejecutarse sin realizar transporte adicional en obra, de forma continua para prevenir interrupciones en la dispersión de las fibras, si este se realiza mediante tolva, el diámetro de la boca de salida debe ser mayor a 30 cm para facilitar el vaciado

Dado que las fibras reducen la trabajabilidad del concreto, se necesitará mayor energía de consolidación. No obstante, la respuesta al vibrado del CRF es mejor que del concreto normal, es decir para igual asentamiento en el cono de Abrams es necesario menor tiempo de vibrado.

La consolidación produce una disposición principal de las fibras, éstas tienden a ubicarse paralelas al encofrado, máxime si se utiliza vibradores de superficie. Este efecto es sólo local, pero puede ser considerable en elementos de poco espesor. El uso de vibradores internos origina zonas con exceso de pasta y pocas fibras, así como la orientación en sentido tangencial al diámetro del vibrador (Anejo 14 de la EHE: 2008).

2.3.9.5. CURADO DEL (CRFA)

Los cuidados en el curado son los mismos que para un concreto tradicional.

2.3.10. ENSAYOS DE EVALUACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF)

Existen diferentes ensayos para evaluar la resistencia a tracción del concreto reforzado con fibras (CRF), ensayos de **tracción directa**, **tracción indirecta** y **flexotracción**.

2.3.10.1. ENSAYOS A TRACCIÓN DIRECTA

El método de ensayo a tracción uniaxial es el más directo para evaluar las propiedades de materiales frágiles, no obstante, es un ensayo complicado, debido a la dificultad de lograr distribuciones iguales de tracción a través de la fisura a causa de defectos y excentricidades en la probeta, la preparación y sujeción de la muestra, lograr estabilidad del ensayo, obtención de valores reales de resistencia a tracción por uso de platos de carga rígidos.

Este ensayo somete la muestra a esfuerzo de tracción hasta llegar a la falla, la carga y deformación permiten determinar las propiedades mecánicas del material (Aire C et al. 2013)

Este ensayo es poco efectivo y no suele utilizarse para evaluar CRF.

2.3.10.2. ENSAYOS A TRACCIÓN INDIRECTA

Debido a que los ensayos a tracción directa son difíciles de realizar, lo cual impide su aplicación. Se han definido ensayos más fáciles, pero menos directos

2.3.10.2.1. ENSAYO BRASILEÑO

Ampliamente conocido para evaluar indirectamente la resistencia a tracción uniaxial del concreto, se puede aplicar en muestras cilíndricas, elaboradas o extraídas, es un proceso fácil, consiste en aplicar cargas de compresión en un lado de la probeta, mientras el extremo opuesto está apoyado. La probeta resiste dos fuerzas concéntricas, opuestas por el diámetro que provocan distribución transversal de tensiones a lo largo del eje de carga, produciendo la falla por tracción de la probeta. Ha sido especificado por varias normas, ASTM C496, UNE 83306 y RILEM CP C6.

Este ensayo se considera inadecuado para CRF, por ser inestable al controlar el desplazamiento, por la deformación en el área de carga y la difícil medición de la fisura debido a la longitud mayor de la probeta (Aire C et al. 2013).

Con el propósito de solucionar estos inconvenientes se realizaron mejoras usando un proceso muy difundido y aceptado que emplea la probeta estándar (Carmona *et al*, 1998). Las mejoras consisten en reducir la longitud de la muestra, limitar un ancho constante del área de carga durante el ensayo, utilizar como variable de control el desplazamiento de abertura de fisura. La inclusión de mejoras permite realizar ensayos brasileños estables, aunque, resulta complejo e inadecuado utilizarlo como ensayo de evaluación rutinaria (Aire C et al. 2013).

2.3.10.2.2. ENSAYO DE CUÑA (Wedge Splitting Test)

Ensayo para evaluar las propiedades a tracción del CRF, donde una cuña transfiere carga gradual a un cubo de CRF con entalla, la cual provoca un desplazamiento de la abertura de entalla produciendo la aparición y expansión estable de la fisura.

La aplicación de este ensayo para evaluar al CRF está en estudio, se ha usado para determinar la tenacidad del CRF. Estudios realizados empleando este ensayo y el de flexotracción en tres puntos (RILEM TC-162 TDF) demuestran la aplicación del ensayo de cuña por su menor variación ante ensayos de flexotracción.

Aunque este ensayo ha sido exitoso para evaluar la resistencia a tracción del concreto convencional, no hay mucha información para CRF (Aire C et al. 2013).

2.3.10.2.3. ENSAYO DE DOBLE PUNZONAMIENTO

Fue introducido por Chen, 1970, 1972, 1980 como herramienta de evaluación indirecta de resistencia a tracción del concreto simple, como alternativa al ensayo brasileño que era el ensayo indirecto a tracción más conocido (Aire C et al. 2013).

2.3.10.3. ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN

Son los ensayos más usados para evaluar el CRF, utilizan muestras prismáticas y paneles cuadrados o circulares. Comúnmente, se evalúa la **resistencia a la fisuración, resistencia a rotura y resistencia residual** a flexotracción. Son más simples y confiables que los ensayos a tracción directa, puede realizarse en vigas con entalla para prevenir dificultades al evaluar el comportamiento post-pico en flexión. La estabilidad del ensayo se controla por la abertura de los bordes de la entalla. (Aire C et al. 2013).

Las muestras utilizadas son de sección transversal cuadrada, luz mínima tres veces el espesor, que se apoyan en rodillos situados al centro (3 points bending test) o a los tercios de la luz de apoyo (Cánovas, 1991).

Estos ensayos, no representan la dirección de las fibras ni la geometría de los elementos de diseño (Pujadas P, 2013), presentan alta variación en los resultados Parmantiers, 2008 y Molins et al, 2009 por lo que cada vez se emplea menos para evaluar el CRF, la alta variación de los resultados en vigas puede atribuirse al **número de fibras en la zona de fisura**, Wille y Parra-Montesinos, 2012 encontraron grandes diferencias en el comportamiento a flexión del CRF al cambiar la dimensión de la viga, modo de colado y tipo de apoyo, obteniendo diferencias de hasta 200%.

Dozio,2008; Laranjeira, 2010 y Ferrara et al, 2011 resaltaron lo importante que los ensayos representen geoméricamente el uso estructural para el cual se diseñará. Así, la representación de los ensayos de vigas pequeñas para diseñar un elemento

estructural es cuestionable, estudios recientes respecto a las propiedades mecánicas del CRF en losas comprueba la exigencia de incluir factores geométricos realistas en el diseño (Febles J, 2016).

A continuación, se presentan los ensayos a flexotracción más comunes.

2.3.10.3.1. ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN CON CARGAS A LOS TERCIOS

Este ensayo estándar especificado por las normas belga NBN B 15-238, europea EFNARC 1996 y americana ASTM C1609, evalúa el comportamiento carga-flecha y determina la **resistencia a primera fisura**: define el comportamiento a flexión del CRF hasta el inicio de la fisuración; **resistencia residual** en flechas determinadas, define la resistencia residual post fisura; y **tenacidad**, capacidad de absorción de energía (Aire C et al. 2013).

Emplea comúnmente vigas de 150 x 150 x 600 mm biapoyada, luz libre 450 mm. La carga se aplica en dos apoyos ubicados a un tercio de la luz libre. Las fisuras pueden darse en alguna parte de la sección central, pues toda la viga está expuesta a igual momento flector. Así, la resistencia a tracción obtenida es menor a la obtenida con carga central.

La dificultad principal es la dimensión y el peso de la muestra, lo que complica su manejo en laboratorio, además los resultados post fisuración basado en este ensayo presentan alta dispersión y superan el 20%. Este ensayo se emplea en la norma alemana DBV (2001) y en la italiana CNR-DT 204 (2006) (fig.38).

2.3.10.3.2. ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN EN TRES PUNTOS

Este ensayo a flexión en tres puntos (3 point Bending Test) aplica la carga al centro de la luz libre, igual a tres veces el ancho de la viga, está enfocado a muestras de CRF entalladas donde el comportamiento está regido por la fisuración, emplea vigas de 100 x 100 x 400 mm o 150 x 150 x 600 mm con entalla central de 25 mm de profundidad. Conforme a la UNE-EN 14651, la muestra será de ancho y altura 150 mm, longitud L de $550 \leq L \leq 700$ mm. El desplazamiento se localiza en la punta de la entalla y la fisuración en un área adyacente a la entalla, la estabilidad del ensayo se controla con la abertura de fisura (CMOD). Para garantizar la falla de la viga a flexión y no influya su peso propio, se usan compensadores de peso, ubicados a los extremos de la viga. Durante el ensayo, se miden la carga y flecha en el centro de luz mediante dos extensómetros (Aire C et al. 2013).

Este ensayo centra la fisura, y permite evaluar la energía real absorbida por la muestra, requiere dispositivos de medida más simples que los utilizados en el ensayo con carga a los tercios, y es más utilizado que este, se emplea, en EHE-08, RILEM TC 162-TDF (2003), Model Code (2010), por lo que representa una alternativa interesante (Febles J, 2016).

Sin embargo, los resultados presentan alta variación de 20 a 30%, lo cual complica evaluar el comportamiento del material (fig. 39).

2.3.10.3.3. ENSAYO DE FLEXOTRACCIÓN EN PANELES

Una opción al ensayo de flexotracción en vigas es el ensayo de panel cuadrado de 600 x 600 x 100 mm (EFNARC, 1996), el cual ofrece mayor confianza que el ensayo en vigas, sin embargo, presenta algunas dificultades.

Este ensayo de paneles es el más conocido, consiste en aplicar carga puntual central al panel simplemente apoyado en un borde ubicado en una base plana cuadrada de 500 x 500 mm. Las propiedades del panel cuadrado se obtienen a través de la carga máxima y tenacidad para un desplazamiento central de 25 mm. La carga máxima no es característica útil del panel, pues depende de la resistencia del concreto y poco tiene que ver con la influencia de las fibras. La tenacidad se determina integrando la curva carga-desplazamiento (Aire C et al. 2013)

Una ventaja del panel cuadrado es la menor variación de los resultados. Sin embargo, la dificultad principal es conseguir una muestra con superficie plana, ya que de esta condición dependerá el comportamiento típico del ensayo, esta característica no es conveniente con visión de control de calidad.

Como alternativa al ensayo de panel cuadrado surgió el ensayo de panel circular Ø 800 x 75 mm de espesor (ASTM C1550), desarrollado por Bernard, 1999; Bernard y Pircher, 2001, para solucionar defectos del panel cuadrado. Consiste en aplicar carga puntual central al panel circular, apoyado en tres puntos simétricos en un diámetro de 750 mm, mediante este ensayo se puede prever de manera más real la distribución de carga.

El comportamiento del CRF se determina mediante la carga y tenacidad para una deformación de 5 a 40 mm. La tenacidad del panel se determina integrando la curva carga-deformación.

Ensayos en paneles cuadrados y circulares con carga puntual central han obtenido variaciones de 6 a 13%.

El ensayo de panel circular es una opción interesante ante los ensayos de vigas y panel cuadrado, por la fácil elaboración y ensayo del panel, se elimina el previo entalle de la viga y dificultoso manejo del panel cuadrado; el panel circular solo necesita desencofrar y esperar el curado para ensayarlo. La desventaja que presenta el panel circular es la difícil aplicación sistemática, debido a la dimensión y peso aproximado de 90 kg, y la influencia del espesor en su comportamiento.

2.3.10.4. ENSAYO BARCELONA

Existen varios ensayos de evaluación del CRF, basados en vigas a flexotracción, sin entalla o con entalla, con carga a los tercios o al centro de luz, a través del cual se determina la **resistencia a fisuración**, **resistencia residual** y **tenacidad**. Aunque, estos ensayos muestran alta dispersión en los resultados lo que invalida generalizarlos como ensayo para evaluar el CRF. Estudios realizados por Bernard (1999) muestran una dispersión en la respuesta pos-fisuración de 15 %, para el índice de tenacidad I30, en el ensayo a flexión con carga central (RILEM TC 162-TDF, 2003), se presenta variación de 20 a 30 %, lo que complica evaluar las características del CRF (Aire C et al. 2013).

Teniendo en cuenta la dificultad y disponer de un ensayo apropiado para evaluar el CRF, Aguado *et al*, 2005, desarrolló un ensayo a tracción indirecta, basado en el ensayo de doble punzonamiento propuesto por Chen, 1970, denominado ensayo Barcelona (fig. 40).

Este ensayo surgió como alternativa al ampliamente conocido ensayo brasileño que se utiliza para evaluar la resistencia a tracción del concreto simple.

Diversos estudios se han efectuado respecto al aporte del CRF en la respuesta de elementos estructurales, por lo que es necesario desarrollar un ensayo eficiente, fácil y confiable para evaluar las propiedades a tracción del CRF, cuando la resistencia a tracción se considere en la respuesta estructural (Aire C et al. 2013)

2.3.10.4.1. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Consiste en aplicar carga puntual en las dos caras de la muestra cilíndrica de 150 mm de diámetro y altura, la aplicación de carga incrementa la tracción sobre los planos del eje de la muestra y esta se fisura por dichos planos, las fisuras se propagan desde el centro, borde del punzón, hacia el perímetro de la muestra, formándose dos o tres fisuras radiales. Sobre los planos de carga se originan dos

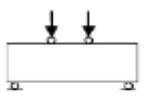
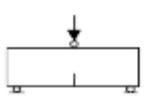
fallas cónicas que se introducen al centro de la muestra fragmentando el concreto unido por fibras (fig.41,42). (Aire C et al. 2013).

2.3.10.4.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO BARCELONA

En este ensayo el registro continuo del desplazamiento circunferencial ($\Delta\emptyset$) y la carga aplicada F permiten calcular la carga pico (resistencia de la matriz), resistencia residual y tenacidad del CRF, la tenacidad se evalúa integrando la energía vs desplazamiento circunferencial. Este ensayo es rápido y de fácil manejo por la dimensión y peso de la muestra. Generalmente, la carga se aplica a velocidad controlada de deformación circunferencial de 0.5 ± 0.05 mm/min.

El desplazamiento circunferencial se mide con un extensómetro circunferencial ubicado a media altura de la muestra (fig.41). (Aire C et al. 2013).

Tabla 5 – características de los principales ensayos para evaluar el CRF (Aire C et al. 2013).

Ensayo	Configuración	Dimensiones, en mm × mm × mm	Peso, en kg	Superf de fractura, en mm ²	CV, en %
ASTM C1018		100 × 100 × 350	8.4	0.01	15
NBN 15-238		150 × 150 × 600	32.4	0.0255	12-20
EFNARC Viga		125 × 75 × 550	12.4	0.0094	20
RILEM 162-TDF		125 × 75 × 550	12.4	0.0094	10-25
EN 14651		150 × 150 × 550	29.7	0.0188	20-30
UNE 83515		150 × ϕ 150	6.4	0.0338	13

La tabla 5 presenta las principales características de los ensayos para evaluar el CRF, en ella, los resultados del ensayo Barcelona presentan menor variación, respecto a los otros ensayos.

2.3.10.4.3. VALIDACIÓN DEL ENSAYO BARCELONA

Para validar el ensayo Barcelona, Aguado *et al*, 2005 y Saludes *et al*, 2007 realizaron diversos estudios con el fin de establecer los parámetros geométricos, especificaciones de carga y características del ensayo.

Saludes *et al*, 2007 estudió parámetros que influyen en los resultados del ensayo, contenido, tipo, esbeltez de fibras, altura de muestra, dimensión del punzón de carga, velocidad de carga, absorción de energía de la muestra durante la fisuración, variación de los resultados, etc. Así, el punzón de acero es de 37.5 mm de diámetro ($d/4$), altura 30 mm.

La norma UNE 83515, 2010. Concretos con fibras: Determinación de resistencia a fisuración, resistencia residual y tenacidad a tracción; especifica los parámetros antes definidos.

Este método de ensayo ha mostrado su performance en la evaluación sistemática del CRF, así mismo ha avanzado en su planteamiento (Carmona *et al*, 2009, 2012; Pros *et al*, 2011, 2012; Pujadas *et al*, 2013)

2.3.10.4.4. PARÁMETROS DEL ENSAYO BARCELONA-UNE 83515:2010

Los parámetros del ensayo Barcelona: **carga, resistencia residual y tenacidad** dependen de las características del concreto y de las fibras, así como de la dosificación de estas.

Al obtener y expresar los resultados se procederá conforme a la norma UNE 83515 (AENOR 2010). Según esta, para evaluar la **Resistencia a tracción del concreto**, saludes *et al*. (2008) propuso la siguiente fórmula:

$$f_{ct} = \frac{4 P_f}{9\pi a H} \quad \dots (2.2)$$

donde:

f_{ct} : Resistencia a tracción (N/mm²)

P_f : carga que produce la fisuración (N)

a : diámetro del punzón de carga (mm)

H : altura de la muestra (mm)

Esta fórmula acepta la fractura de la muestra y por ello puede utilizarse en el cálculo de resistencia última de muestras fisuradas, es independiente del número de fisuras que se originen en la muestra por lo que puede usarse para evaluar el rango post fisuración del CRF (Mora, 2008).

Resistencia residual a tracción del concreto, en N/mm², es la carga unitaria correspondiente a una deformación circunferencial determinada. Se determina según la expresión:

$$f_{ctRx} = \frac{4 P_{Rx}}{9\pi a H} \quad \dots (2.3)$$

donde:

f_{ctRx} : resistencia residual a tracción del concreto (N/mm²)

P_{Rx} : carga que corresponde a una deformación circunferencial total R_x (N)

a : diámetro del punzón de carga (mm)

H : altura de la muestra (mm)

Tenacidad: energía en julios, que se transmite a una muestra de ensayo para producir un desplazamiento circunferencial total determinado R_x , se calcula por el área (T_{Rx}), de la gráfica energía-desplazamiento circunferencial total hasta un desplazamiento determinado (R_x), la cual caracteriza el comportamiento a tracción indirecta del CRF muy útil para evaluar la carga, energía, resistencia a fisuración, resistencia residual y tenacidad a tracción del CRF con fines de diseño, se determina para una deformación circunferencial de 2, 2.5, 4 y 6 mm. (fig. 43)

2.3.11. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

2.3.11.1. RESISTENCIA A TRACCIÓN

La inclusión de fibras modifica el comportamiento no lineal a tracción del concreto estructural, impide la fisuración. Por ello, la evaluación no lineal se recomienda cuando las fibras formen parte importante del refuerzo del concreto (EHE:2008)

Las fibras refuerzan sensiblemente la respuesta en la fase de pre-fisura respecto del concreto simple, y de forma destacada incrementan la resistencia residual post-fisura debido al cosido de los bordes de las fisuras (fig.44).

Al incorporar fibras 1.5% del volumen en concretos y morteros se incrementa la resistencia a tracción directa de 30 - 40% (ACI 544.1R-96, 2009).

2.3.11.2. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

El aumento de resistencia a flexotracción al incluir fibras de acero al concreto es superior al de resistencia a compresión y tracción, debido al comportamiento dúctil del CRFA en la zona fisurada por tracción, desarrollando resistencia residual (Hannant, D. J., 1978)

El aumento de resistencia a primera fisura al adicionar fibras de acero es mínimo, lo cual muestra que esta propiedad depende principalmente del concreto y muy

poco del contenido, tamaño y forma de las fibras, por lo que es más conveniente mejorar las propiedades del concreto usando de aditivos (ACHE. 2000) (fig.45). La resistencia a rotura es función del volumen y esbeltez de fibras, incrementando la resistencia de la matriz al 100%, al utilizar fibras de extremos conformados. (Gimenez. E. 1993)

2.3.11.3. RESISTENCIA AL IMPACTO

Es una propiedad principal del CRFA, por absorción de energía, es de 3 a 10 veces la resistencia del concreto simple (ACI 544.4R-88, 2009), el CRFA es menos propenso a la fragmentación y desprendimiento, debido a la sensibilidad del concreto, a la resistencia al arrancamiento y deformación de las fibras, estudiado por Moreno Almansa, E. y Fernández Cánovas, M (1999), Wang Z. (2008) y Mohammadi Y. (2009).

2.3.11.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La inclusión de fibras al concreto no produce aumentos importantes de resistencia a compresión, pueden producir ligeros incrementos o disminución (Yazici S. 2007). En concretos jóvenes (antes de 28 días) la inclusión de fibras aumenta notablemente la resistencia a compresión, conforme madura el concreto el aumento disminuye y la tenacidad y ductilidad se centran en la fase post-fisura. (Ding. Y, 2000).

A menor tamaño de la muestra se tiene mayor resistencia a compresión, debido a la orientación preferente de las fibras. El efecto es más notorio conforme aumenta la longitud de fibra (ACI 544.3R, 2008). muestras más esbeltas resisten tensiones ligeramente mayores, pero tienen menor ductilidad a compresión (D. N,1975) (fig.46).

2.3.11.5. TENACIDAD

La tenacidad se calcula por el área bajo la gráfica carga-flecha del ensayo a flexotracción.

La gráfica carga-flecha depende de las dimensiones del elemento, configuración de carga a los tercios o punto central, criterio de control del ensayo carga-flecha, abertura de fisura, velocidad de carga.

El factor que más influye en la tenacidad es la capacidad adherente de las fibras. (Nemkumar B. 1995)

2.3.12. OTRAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

2.3.12.1. CORTANTE Y TORSIÓN

La resistencia a cortante y torsión del concreto se incrementa al incluir fibras de acero, los estudios para evaluar estas propiedades se realizaron en elementos de CRFA armados: Serna. P, 2008; Barragán, 2002; Meda. A, 2005 y Minelli. F y Plizzari. A, 2008. Barragán, al ensayar vigas de CRFA armadas, observó que la fisuración es más distribuida, aumenta la capacidad de carga última a cortante. Emplear refuerzo combinado fibras y estribos incrementa la **ductilidad**, con aumento de resistencia a cortante bajo de 0% a 15% para concreto normal y de alta resistencia, respectivamente, respecto a vigas con solo estribos como refuerzo a cortante (Valle M, 1993)

2.3.12.2. MÓDULO DE DEFORMACIÓN

El módulo de deformación del CRFA con volumen de fibras ($V_f < 1\%V$) no presenta variación notable respecto del concreto tradicional, comúnmente su módulo de deformación es igual al de la matriz o se calcula un valor aproximado aplicando una fórmula en función de la resistencia a compresión (D. N, 1975)

2.3.12.3. PUNZONAMIENTO

Al emplear fibras en volúmenes superiores a 0.5% se obtiene roturas por punzonamiento más graduales y dúctiles, incrementando la fisuración previa al agotamiento y la resistencia post fisuración, en función a la cantidad de fibras, esbeltez y capacidad adherente, las fibras producen incrementos de resistencia a la rotura por punzonamiento de hasta un 42% (ACI 544.4R-88, 2009).

2.3.12.4. ADHERENCIA FIBRA MATRIZ

La adherencia fibra-matriz es la propiedad que rige el comportamiento del CRFA post fisuración, aumenta con la esbeltez de las fibras, las fibras cosen las fisuras, haciendo más dúctil y retrasando la fatiga del CRFA. Se ha probado que, al ensayar fibras de extremos conformados, la resistencia al arrancamiento de tres

fibras de esbeltez 100, es 50% mayor que la resistencia de una sola fibra de esbeltez 75 con el mismo volumen que las tres fibras anteriores (G. G, 1986).

Comparando tres tipos de fibras del mismo material e igual área, circular recta, circular con extremos conformados y triangular retorcida. Al ensayar a tracción una sola fibra, se encontró que la fibra triangular retorcida dio una resistencia de adherencia de 400% y 200% mayor que la fibra recta y la de extremos conformados, respectivamente. La energía de arrancamiento fue 2.5 veces mayor para la fibra triangular respecto de la fibra conformada (Naaman, A.E, 2000).

2.3.12.5. DURABILIDAD DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

El CRF con función estructural no utiliza malla de reparto, que exige la EHE, colocar en medio de recubrimientos mayores a 50 mm (EHE: 2008).

Las fibras de acero añadidas al concreto generan un comportamiento mecánico con mayor número de fisuras de menor ancho, factor importante en la durabilidad (Mármol P, 2010).

La adición de fibras de acero aumenta la resistencia a la erosión (EHE: 2008).

En concretos no fisurados se ha comprobado que la corrosión de las fibras se limita a la superficie del concreto. Al corroerse la superficie, la corrosión no avanza más de 2 mm a partir de la superficie, aun cuando los elementos están sometidos al agua de mar (ACI 544.1R-96, 2009)

2.3.12.6. CONTRIBUCIÓN DEL CONCRETO Y LAS FIBRAS EN EL COMPORTAMIENTO CONJUNTO

Al evaluar el CRF, se desconoce el comportamiento que este tendrá y como aportan cada componente. Por tanto, debido a que los componentes del CRF son concreto y fibras; la suma del aporte de ambos materiales dará el comportamiento mecánico final del CRF.

Para el concreto, el comportamiento a tracción o flexotracción se debe al comportamiento mecánico de la pasta de cemento y agregados.

Para las fibras añadidas, su comportamiento no será el mismo si se tendría un concreto reforzado con una barra de acero o una sola fibra embebida.

Al someter un elemento de CRF a tracción o flexotracción, al inicio del proceso de carga, el concreto absorbe la carga; el trabajo de las fibras en esta fase es mínimo

o nulo, luego cuando el concreto empieza a fisurarse, la carga se transmite a las fibras, y estas al final toman toda la carga (fig. 47) (Coto Roquet, L.A: 2007).

La Figura 47 muestra la tensión del CRF como la suma de la contribución del concreto y las fibras. Pero, cuando se llega a una determinada deformación, se inicia una fase de descarga en la que el elemento aumenta su deformación a una tensión cada vez menor. Esta fase de descarga representa la pérdida de anclaje entre fibras y concreto, produciendo deslizamiento de la fibra hasta que se produce la rotura final del elemento (Coto Roquet, L.A: 2007).

2.3.13. APLICACIONES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF)

El CRF se emplea cada vez más en la construcción, debido a la mejora de los ensayos y al conocimiento de sus propiedades. La adición de fibras es posible en concreto simple, armado o pretensado. Sus aplicaciones son:

2.3.13.1. PAVIMENTOS

Los pavimentos son losas apoyadas sobre suelo, expuestos a carga puntual, distribuida o lineal, son reforzados para efectos de retracción y temperatura, así como para flexotracción cuando el nivel de carga lo requiere. Un alto número de fibras por kg creará un refuerzo tridimensional uniforme distribuido en el concreto, incrementa su respuesta, que unida al alto módulo elástico de las fibras mejora la resistencia a tracción del concreto con deformación mínima (Febles J, 2016).

Debido a las funciones que cumplen estos concretos se requiere características específicas para responder los requerimientos estructurales.

- **Resistencia a flexotracción**

Los pavimentos tienen la función de transmitir cargas de tráfico al terreno, por lo que requieren alta resistencia a flexotracción.

- **Resistencia a fatiga**

Fundamental debido a la actuación cíclica de cargas de tráfico.

- **Retracción mínima**

En pavimentos de carreteras los requisitos de resistencia inicial alta originan una fisuración considerable; el CRFA responde a estos requisitos, por esta razón su aplicación en este campo tiene gran éxito (Blanco A, 2008). Ejemplos:

- Patio Norte Sinchi Roca (distrito comas, Lima Perú, 2010): pavimento de 61,370 m², $f'c=280\text{kg/cm}^2$, 20 cm de espesor, fibra Dramix RC-65/60-BN, dosificación 20kg/m³, con juntas de contracción y retracción. (fig. 48)
- Planta IMECOM-Punta negra km 46 PN SUR (distrito de punta negra, Lima Perú, 2011): pavimento de 17,000 m², 19 cm de espesor, fibra Dramix RC-80/60-BN, dosificación 20kg/m³ con juntas de contracción y retracción. (fig. 49)

Las fibras de acero además de pavimentos industriales se utilizan en pavimentos especiales como puertos, aeropuertos, etc. debido a la resistencia del CRFA a cargas e impactos producidos en zonas de manejo de contenedores de carga y descarga de buques.

En el ámbito militar el CRFA también se utiliza en pavimentos para base de helicópteros y carros de combate, ejemplos:

- Base de carros de combate cerro Muriano (Córdoba, España, 1991): pavimento de 30,000 m², resistente a los efectos de la acción de las orugas y esfuerzos causados por el giro de los carros; espesor 17 cm, fibra Dramix RC80/60 BN, dosificación 35 kg/m³ (fig. 50)
- Protección contra explosiones y penetración de proyectiles, debido al incremento de resistencia al impacto y al choque que producen las fibras de acero. Destaca el estudio de Moreno Almansa y Fernández Cánovas (1999). “comportamiento del concreto tradicional y CRFA bajo impacto de pequeños proyectiles” (fig. 51).

2.3.13.1. TÚNELES

El CRFA se utiliza en elementos de revestimiento de túneles, cuando la excavación es tradicional, se estabiliza la cara expuesta con elementos de revestimiento. El CRFA aumenta la tenacidad de estos elementos, los índices de seguridad en el túnel, reduce la fisuración, la permeabilidad, el espesor, el tiempo de construcción al no requerir malla electrosoldada, menor rebote, ahorro económico, mejor comportamiento ante variaciones de temperatura (fig. 52) (Febles J, 2016), ejemplos:

2.3.13.2. OTRAS APLICACIONES

El uso del CRFA es esencial en elementos prefabricados. Se construyen viviendas prefabricadas sin armado convencional (fig. 53), obras subterráneas con alto nivel de requerimiento técnico y seguridad. Por ello la fabricación de dovelas prefabricadas de CRFA es una aplicación con más crecimiento en la actualidad (fig. 54).

Una aplicación notable del CRFA es la construcción de una placa delgada en el oceanográfico de Valencia. Debido a requisitos de resistencia, durabilidad y menor peso se eligió al CRFA como material de construcción (fig. 55).

También, se construyen elementos prefabricados: tubos, cajas, canales y otros. El CRFA provee a los tubos resistencia al impacto, abrasión y cavitación, reduce espesores, mejora la impermeabilidad, así mismo se utiliza en la reparación de averías causados por erosión y cavitación, en concretos tradicionales de buena calidad después de un tiempo corto de servicio (fig.56) (Coto Roquet, L.A: 2007).

Una aplicación interesante de las fibras plásticas es la protección del concreto contra incendios, cuando el concreto está sometido al fuego, la temperatura superficial aumenta y el vapor de agua generado se dirige hacia el núcleo del concreto donde la temperatura es menor, incrementando la presión interna que llega a superar la resistencia del concreto, originando un conjunto de explosiones bruscas en los primeros momentos del incendio, causando desprendimiento de la cara superficial del concreto, conocido como efecto Spalling.

Estudios indican que incluir micro-fibras de polipropileno de diámetro menor a 32 μm reducen el efecto SPALLING en el concreto durante un incendio y existe una relación entre cantidad de fibras incluidas al concreto y el aumento de resistencia al fuego (fig.57) (Bianchini ingeniero SA).

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Cemento portland:** cemento hidráulico producido por pulverización de Clinker de Portland compuesto de silicatos de calcio hidráulico y que contiene una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición NTP 339.047: 2019
- **Coefficiente de variación (CV):** relación entre la media y la variabilidad de la variable.

Expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, muestra una interpretación relativa del grado de variabilidad. A mayor coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable. Se calcula con la fórmula.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$$

Dónde: σ desviación típica, y \bar{x} es la Media (<http://es.wikipedia.org>).

- **Concreto simple:** concreto estructural sin refuerzo o con menor refuerzo al mínimo indicado para concreto reforzado (NTE E.060: 2009).
- **Curva Esfuerzo-Deformación:** curva graficada con los valores de esfuerzo y deformación unitaria de la muestra, calculados a partir de datos de ensayos de tensión o compresión (NTP E.060: 2009).
- **Dosificación:** cantidad de fibras de acero añadidas al concreto en kg/m^3 , según **Certificación Europea** acorde con **EN 14889-1**; de acuerdo al tipo de fibra.
- **Entalla:** corte o fisura inicial transversal que se hace en una cara de la viga de concreto para inducir la aparición de la falla en dicha sección durante el ensayo de flexotracción.
- **Esbeltez:** relación entre longitud y diámetro (l/d) de las fibras de acero Dramix 3D y 4D(Bekaert).
- **Fatiga:** agotamiento del material a causa de la aplicación de cargas repetidas o alternadas. (Porrero "Manual del Concreto Estructural", 2003).
- **Fibras encoladas:** fibras empaquetadas, adheridas una a otra por medios químicos o mecánicos. Durante el proceso de mezclado, las fibras se separan en fibras individuales (Benavides C, W: 2012)
- **Losa:** elemento estructural de pequeño espesor respecto de sus otras dimensiones usado como techo o piso, comúnmente horizontal reforzado en una o dos direcciones según el tipo de apoyo de su contorno. Usado también como diafragma rígido para mantener la unidad estructural frente a cargas horizontales de sismo (NTP E.060: 2009).
- **Módulo de elasticidad:** relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material (NTP E.060: 2009).

- **Módulo de ruptura:** valor obtenido mediante el procedimiento indirecto para determinar la resistencia a tensión del concreto por el ensayo a flexión en vigas (imcyc, 2013).
- **Resistencia al impacto:** Energía necesaria para romper una muestra sometida a carga de choque, como en un ensayo de impacto. También llamado energía de rotura por impacto, resistencia al impacto y absorción de energía. Indica la dureza del material (<https://www.instron.es>)
- **Resistencia a la fisuración:** en N/mm^2 , esfuerzo máximo de tracción que un cuerpo soporta sin romperse. Es sinónimo de carga de rotura por tracción. No debe confundirse con la carga admisible; esta resulta inferior a la carga de fluencia en una cantidad llamada coeficiente de seguridad (A Trecco, 2013). Se obtiene mediante la expresión (2.2)
- **Resistencia residual:** en N/mm^2 , carga unitaria que corresponde a una deformación circunferencial R_x determinada (Aire C., et al 2014). Se obtiene según la expresión (2.3)
- **Tenacidad:** energía en julios que es necesaria transmitir a la muestra de ensayo para que este alcance una deformación circunferencial total determinada R_x (Aire C., et al 2014).

3. CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa N°1050 ciudad universitaria, departamento Cajamarca, provincia Cajamarca.

Entre los meses de julio a diciembre de 2018.

Los agregados empleados se extrajeron de la cantera Aguilar, rio chonta (fig.58)

Departamento: Cajamarca

Provincia: Cajamarca

Distrito: Baños del inca

Centro poblado: Tartar chico (ver plano de ubicación anexo 05)

Coordenadas UTM: Este: 779923.31 m, Norte: 9208931.54 m, Altitud :2677 msnm

3.2. MATERIALES

Los materiales para la investigación fueron: cemento Pacasmayo portland tipo I (norma NTP 334.009; o ASTM C 150), agregados de rio, agua potable de la red pública, fibras de acero Dramix 3D y 4D de la empresa Bekaert.

AGREGADO FINO Y GRUESO (fig.59)

FIBRAS DE ACERO DRAMIX 3D Y 4D (fig.60, 61)

3.3. EQUIPOS

EXTENSOMETRO

Se elaboró un extensómetro a base de una abrazadera de acero utilizada para unir tuberías a presión, dicho instrumento se confeccionó con un extremo que se fija a una guía adosada a uno de los punzones y el otro extremo deslizante sobre la trayectoria circular, el cual al hacer contacto con la punta del comparador digital ensamblado en el soporte magnético medirá la deformación circular de la muestra (fig.62).

COMPARADOR DIGITAL (Mitutoyo América Corporation)

Se utilizó un comparador digital Absolute modelo 1D-S1012MX Mitutoyo 543-782, con intervalo de medición 12.7 mm/0.5", resolución 0.01 mm/0.0005", exactitud

máxima 0.02 mm/±.001”, fuerza de medición ≤ 1.5N (fig. 63)

SOPORTE MAGNÉTICO (Mitutoyo América Corporation)

El Soporte Magnético Mitutoyo 7010SN es un accesorio diseñado para utilizarse con instrumentos de medición como indicadores de cuadrante o palpadores, permite su fijación en cualquier posición deseada.

Tiene una base magnética en “V” que permite fijarse en cualquier superficie cilíndrica, posee un eje fijo y otro libre, un adaptador en el extremo del eje que permite fijar el instrumento de medición en cualquier sentido (fig.64).

PUNZONES DE ACERO

Elaborados de acero según los requisitos de la norma **UNE 83515-AENOR (2010)** (fig. 65, 66).

CONO DE ABRAMS (Norma ASTM C143) (fig. 67)

3.4. MÉTODOS

3.4.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación corresponde a un tipo de estudio explicativo, es decir, explica el por qué la dosificación y esbeltez de las fibras de acero (variables independientes) influyen en la resistencia a fisuración, resistencia residual y tenacidad (variables dependientes) del CRFA, así mismo presenta un diseño de investigación experimental puesto que se realiza manipulación deliberada de las variables independientes de estudio, para analizar los efectos de esa manipulación en las variables dependientes, dentro de una situación de control, a su vez, es experimental puro debido a la manipulación intencional de las variables independientes, mide el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes y dicha medición es válida y confiable, cumple con el control o valides interna de la situación experimental.

3.4.2. UNIDAD DE ANÁLISIS.

Las unidades de análisis están formadas por muestras estándar de 150 mm de Ø x 300 mm de altura de concreto reforzado con fibras de acero y muestras de 150 mm de Ø y altura de CRFA Dramix 3D y 4D, las cuales fueron evaluadas mediante el ensayo a compresión axial y el ensayo Barcelona respectivamente.

3.4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO.

POBLACIÓN

- Concreto simple de resistencia especificada 210 kg/cm²
- Concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) con resistencia especificada 210 kg/cm²

MUESTRA

La muestra está constituida por cuatro series de mezclas de CRFA Dramix 3D y 4D, agrupadas de acuerdo al tipo de fibra. Cada serie está dividida en tres dosificaciones diferentes, considerando como dosificación mínima la indicada por certificación europea.

Tabla 6 – Serie de mezclas de CRFA, de acuerdo al tipo de fibras y dosificaciones consideradas (fuente propia)

Serie	Tipo de Fibra Dramix	L _n (mm)	d _n (mm)	L _n /d _n	Dosificación N° 1 (kg/m ³)	Dosificación N° 2 (kg/m ³)	Dosificación N° 3 (kg/m ³)
M1	3D 80/60BG	60	0.75	80	10	15	20
M2	3D 65/60BG	60	0.90	65	15	20	25
M3	4D 55/60BG	60	1.05	55	20	25	30
M4	3D 45/35BL	35	0.75	45	30	35	40

La Dosificación N°1 corresponde a la mínima según Certificación Europea acorde con EN 14889-1.

TIPO DE MUESTREO.

No probabilístico. Debido a que las unidades de análisis se eligieron de acuerdo al criterio del investigador, basado en los objetivos del estudio, en el plan de investigación y en el aporte que desea hacer con el estudio, mas no depende de la probabilidad.

Los resultados de este tipo de muestra no pueden generalizarse para toda la población pues solo son válidos para la muestra.

3.4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para recolectar la información necesaria que permita obtener los objetivos del estudio se deberá seleccionar los instrumentos de medición los cuales deben ser válidos y confiables para aceptar los resultados, aplicar los instrumentos de medición, organizar las mediciones procesarlos y analizarlos.

Técnicas.

Las técnicas utilizadas en la recolección de datos fue el experimento y observación directa a partir del análisis y el reconocimiento, previamente se definió los objetivos a cumplir, se determinó la unidad de observación, las condiciones en que se asumirá las observaciones, y las características que deben registrarse.

Instrumentos.

se emplearon los siguientes instrumentos para recolectar y registrar la información: husos granulométricos para evaluar la granulometría de los agregados, tablas para registrar carga y deformación e identificar el tipo de falla en el ensayo a compresión, formatos en Excel para registrar la carga y deformación a 2, 2.5, 4 y 6mm en el ensayo Barcelona.

3.4.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.

Los datos obtenidos fueron organizados y transferidos a una matriz, guardados en el programa Excel 2016, procesados mediante una hoja de cálculo, aplicando las fórmulas correspondientes para cada variable dependiente.

- La evaluación de resistencia a tracción (N/mm^2) del concreto reforzado con fibras se realizó mediante la ecuación (2.2), para una deformación circunferencial de 2, 2.5, 4 y 6 mm.
- El cálculo de resistencia residual (N/mm^2) del concreto reforzado con fibras de acero se realizó mediante la ecuación (2.3), para una deformación circunferencial total de 2, 2.5, 4 y 6 mm
- El cálculo de la tenacidad del concreto reforzado con fibras se realizó por determinación del área bajo la gráfica energía vs deformación circunferencial, mediante la integral de la energía en función de la deformación, para 2, 2.5, 4 y 6 mm.

Cada grupo de seis resultados obtenidos de cada dosificación de fibra de acero fueron analizados mediante un análisis estadístico descriptivo, calculando la media (medida de tendencia central) y la desviación estándar (medida de variabilidad), para luego calcular el coeficiente de variación relacionando la

desviación estándar y la media, cuya fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media; y con ello verificar la homogeneidad del conjunto de datos (resultados), dichos “CV” se presentaron en tablas. La fórmula utilizada fue la siguiente.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \quad \dots (3.1)$$

Dónde: σ es la desviación típica, y \bar{x} es la Media.

3.4.6. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Para lograr los objetivos de estudio se cumplieron las siguientes etapas:

Etapas iniciales:

El objetivo fundamental fue la elaboración del proyecto de tesis de investigación, para lo cual se determinó el objetivo de estudio, se realizó revisiones bibliográficas y observaciones en obras existentes, recopilación y análisis de información, se estableció contactos y asesorías con profesionales de ingeniería conocedores del tema, de las variables y sus aplicaciones. Toda esta información permitió elaborar con éxito el proyecto de tesis.

Etapas de obtención de datos previos:

Para iniciar el proceso de investigación fue necesario obtener datos previos de los materiales empleados, para lo cual se determinó las propiedades físicas de los agregados para concreto, así como la determinación de parámetros necesarios para el diseño a partir de estos datos previos.

Para determinar la uniformidad del tamaño de partículas de los agregados se determinó el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura.

Etapas de diseño y elaboración de muestras:

En esta etapa se realizó el diseño de la mezcla de prueba considerando las propiedades requeridas en el concreto fresco y endurecido, se realizaron ensayos de consistencia del concreto fresco, se elaboraron 3 probetas estándar de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura, luego se realizó los ensayos de compresión del concreto endurecido a los 7 días de edad para obtener el porcentaje de resistencia de diseño alcanzado.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de la mezcla de prueba se realizaron los ajustes necesarios para obtener el diseño de la mezcla del concreto patrón, se realizó ensayos de consistencia del concreto fresco, se elaboraron 9 probetas estándar de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura, el desmolde y curado de los mismos, luego se realizaron los ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días de edad en grupos de 3 probetas.

Al diseño de la mezcla de concreto patrón se le agregó fibras de acero de diferentes tipos y en diferentes dosificaciones conforme a la tabla 1, para obtener la mezcla de CRFA; teniendo en cuenta la trabajabilidad de la misma. Se realizaron ensayos de consistencia del concreto fresco, se elaboraron 9 probetas por cada dosificación, 3 probetas estándar de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura para el ensayo de compresión axial y 6 probetas 150 mm de diámetro x 150 mm de altura para el ensayo Barcelona.

La elaboración de las probetas estándar se realizó en tres capas, y las muestras cilíndricas de 150x150mm se moldearon en dos capas. La compactación se realizó con una varilla liza de 60 cm de longitud con un extremo redondeados de $D= 5/8$ " mediante 25 golpes por cada capa.

Todas las probetas fueron desmoldadas a las 24 horas del vaciado y curadas en tanques de almacenamiento de agua, donde permanecieron durante 28 días, hasta la realización de los ensayos del concreto endurecido.

Etapas de ensayo de muestras: se realizó los ensayos de compresión axial y ensayo Barcelona.

Etapas de edición: está referida a la publicación de resultados e implica la redacción del informe final, su corrección y reproducción.

3.4.6.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO

Peso específico y absorción

Se procedió conforme a los requerimientos de las Normas ASTM C 128 o NTP 400.022: 2018, ASTM C 127 o NTP 400.021: 2018.

Análisis granulométrico

Se procedió conforme a los requerimientos de la Norma ASTM C 136 o NTP 400.012: 2018

Peso unitario

Se procedió conforme a los requisitos de la Norma ASTM C 29 o C 29 M; o NTP 400.017

Contenido de humedad

Se procedió conforme a los requisitos de la Norma ASTM C 566-13 o NTP 339.185:2018.

Resumen de las propiedades físicas de los agregados

AGREGADO FINO

Tabla 7 – Propiedades físicas del Agregado Fino (fuente propia)

Peso unitario suelto =	1665.106 kg/m ³
Peso unitario compactado =	1755.290 kg/m ³
Peso específico de masa =	2629.020 kg/m ³
Contenido de humedad =	3.8 %
Absorción =	1.324 %
Módulo de fineza =	3.112

AGREGADO GRUESO

Tabla 8 – Propiedades físicas del Agregado Grueso (fuente propia)

Perfil:	Angular
Tamaño máximo nominal =	3/4"
Peso unitario suelto =	1471.385 kg/m ³
Peso unitario compactado =	1563.557 kg/m ³
Peso específico de masa =	2610.981 kg/m ³
Contenido de humedad =	0.28 %
Absorción =	1.065 %
Módulo de fineza =	6.622

3.4.6.2. PASOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI.

1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

La resistencia promedio requerida se determinó empleando la tabla 9.

Tabla 9 – Resistencia promedio a compresión requerida cuando no hay datos para establecer la desviación estándar de la muestra (NTE E.060:2009).

Resistencia especificada a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio requerida a la compresión (kg/cm ²)
$f'_c < 210$	$f'_{cr} = f'_c + 70$

$210 \leq f'_c \leq 350$ ≥ 350	$f'_{cr} = f'_c + 85$ $f'_{cr} = 1.1f'_c + 50$
--	---

2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO

El tamaño máximo nominal del agregado grueso debe ser el mayor, económicamente disponible, acorde a las dimensiones y características de la estructura (Rivva López, 2010).

3. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Se considera que el ensayo de asentamiento, mediante el Cono de Abrams (Norma NTP 339.035 o ASTM C143) da una mejor referencia de las características de la mezcla de concreto bajo condiciones de obra (Rivva López, 2010).

Si las especificaciones no indican el asentamiento del concreto, este se dosificará para consistencia plástica, con asentamiento de 3" a 4" (75 a 100 mm) si la compactación será por vibrado y de 5" o menos (125 mm o menos) si la compactación será por varillado (Rivva López, 2010).

4. SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

La tabla 10 permite seleccionar el volumen unitario de agua, para agregados en estado seco, en concretos sin y con aire incorporado; considerando la consistencia que se desea para la mezcla y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla 10 – Volumen unitario de agua (comité 211 del ACI)

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	Concretos sin aire incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
	Concretos con aire incorporado							
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

5. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

5.1 SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

La tabla 11 da el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado, de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso, gradado conforme a Norma NTP 400.037:2018 o ASTM C33.

Tabla 11 – Contenido de Aire Atrapado (comité 211 del ACI)

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0 %
1/2"	2.5 %
3/4"	2.0 %
1"	1.5 %
1 1/2"	1.0 %
2"	0.5 %
3"	0.3 %
6"	0.2%

6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR RESISTENCIA

La relación agua/cemento de diseño, es la cantidad de agua en la mezcla cuando el agregado está saturado superficialmente seco, es decir no toma ni aporta agua. La relación agua/cemento efectiva es la cantidad de agua en la mezcla cuando se tiene en cuenta la humedad del agregado (Rivva López, 2010).

6.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

La tabla 12 da las relaciones agua/cemento en peso máximas para diferentes resistencias promedio, de concreto sin o con aire incorporado, elaborados con cemento portland Tipo I y materiales según la Norma ASTM C 33 o NTP 400.037:2018.

Tabla 12 – Relación Agua/Cemento por Resistencia (comité 211 del ACI)

f _{cr} (28 días)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	...
450	0.38	...

7. SELECCIÓN FINAL Y AJUSTE DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

La relación agua/cemento de diseño finalmente seleccionada se corregirá a relación agua/cemento efectiva en función a la humedad del agregado.

8. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

El cemento en kilogramos por unidad cubica de concreto se determina por división del volumen unitario de agua, en l/m^3 , entre la relación agua/cemento.

9. SELECCIÓN DEL AGREGADO

La selección del porcentaje de agregado fino y grueso, respecto al volumen absoluto total de agregado, se realiza calculando el porcentaje de agregado grueso y por diferencia el porcentaje de agregado fino correspondiente.

9.1 SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

La Tabla 13, es función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino, permite obtener un coeficiente b/b_0 resultante de dividir el peso seco del agregado grueso requerido por la unidad cubica de concreto entre el peso unitario seco y varillado del agregado grueso en kg/m^3 .

Tabla 13 – Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto (comité 211 del ACI)

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.72	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.80	0.78	0.76
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

El cálculo del agregado grueso a partir del coeficiente b/b_0 , permite obtener concretos trabajables para concreto armado tradicional.

Para concretos menos trabajables como pavimentos, los valores pueden incrementarse en un 10%. Para concretos más trabajables, como los concretos bombeados, los valores pueden reducirse en un 10%.

Multiplicando el coeficiente b/b_0 , de la tabla 13, por el peso unitario seco varillado del agregado grueso, se obtiene, el agregado grueso seco y compactado que se requiere en la mezcla.

9.2 SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES DE AGREGADO FINO

El volumen absoluto es igual al peso del material en la unidad cubica de concreto entre su peso sólido, se calcula por diferencia de la unidad y la suma de volúmenes absolutos del cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso seco. El peso solido es igual al producto del peso específico del material y el peso unitario del agua.

10. AJUSTES POR HUMEDAD DEL AGREGADO

El agua de mezcla añadida a la mezcladora debe reducirse en un volumen igual a la humedad superficial aportada por los agregados, siendo igual al contenido de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción, se presentan tres casos: que ambos agregados aporten agua a la mezcla; que un agregado aporte agua y el otro quite agua a la mezcla; o que ambos agregados disminuyan el agua de mezcla.

3.4.6.3. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO, MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

La cantidad de materiales para un volumen de 0.02 m^3 (3 probetas estándar) de mezcla de concreto patrón serán:

Tabla 14 – Resumen de proporciones de mezcla del concreto patrón (fuente propia)

TANDA	0.02	m3
Cemento =	5.200	kg
Agua efectiva =	3.612	lt
Agregado Fino húmedo =	21.312	kg
Agregado Grueso húmedo =	16.618	kg

(Ver anexo 02)

ELABORACIÓN Y CURADO DE PROBETAS

La elaboración y curado de muestras estándar de concreto simple se efectuó conforme a la ASTM C 192/C192M o NTP 339.183: 2013 (revisada 2018).

La elaboración de probetas de 150 mm de diámetro x 300 mm de alto y 150 mm de diámetro x 150 mm de alto de CRF se efectuó conforme a los requerimientos de la norma UNE 83504: 2004.

ENSAYO DE CONSISTENCIA

La consistencia del concreto fresco, tanto simple y CRF se realizó conforme a la ASTM C143/C143M-09 o NTP 339.035: 2015.

CURADO DE PROBETAS

EL curado de muestras de concreto se efectuó conforme a la norma ASTM C 511 o NTP 334. 077: 2017

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Los ensayos de resistencia a compresión de muestras estándar de 150 mm de diámetro x 300 mm de alto de concreto de prueba, concreto patrón y CRFA se realizaron conforme a la norma ASTM C39 o NTP 339.034:2015, Así mismo se identificó el patrón de falla.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA, RESISTENCIA RESIDUAL Y TENACIDAD

Los ensayos de tracción indirecta, resistencia residual y tenacidad CRFA de muestras de 150 mm de diámetro y altura, se realizaron conforme a los requerimientos de la norma UNE 83515 (AENOR, 2010).

3.4.6.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Etapa de obtención y análisis de resultados:

En esta etapa, con el fin de alcanzar los objetivos se procesaron los datos obtenidos y analizaron los resultados, en programa Excel 2016, como se explica en la metodología.

En el procesamiento de los datos el objetivo fue hallar **la resistencia a la fisuración, resistencia residual y tenacidad** del CRFA. el análisis de los resultados se realizó mediante métodos estadísticos, la discusión de los resultados se realizó a partir de los resultados obtenidos en el estudio con los supuestos reseñados en el marco teórico y con los reportados por otros investigadores en sus estudios.

4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ENSAYOS DE CONSISTENCIA DEL CONCRETO

Tabla 15 – Resultados de ensayos de consistencia del concreto fresco.

Mezcla	Tipo de Fibra	Dosificación (kg/m ³)	Slump medido (cm)
C. prueba	Sin fibra	0	10.00
C. patrón	Sin fibra	0	10.00
M1	3D 80/60BG	10	9.50
		15	8.50
		20	7.50
M2	3D 65/60BG	15	9.00
		20	8.00
		25	7.00
M3	4D 55/60BG	20	8.00
		25	7.00
		30	7.50
M4	3D 45/35BL	30	8.00
		35	7.50
		40	7.00

De acuerdo a la tabla 15, la dosificación de las fibras de acero influye en la consistencia del concreto fresco, disminuyendo conforme la dosificación aumenta, tal como lo afirman el Anejo 14 de la EHE (2008), y las investigaciones de M, Fernández Cánovas, Corcino A, V. (2007) y Mármol S, P. (2010), esto debido al aumento de la cohesión del concreto producido por las fibras. El Anejo 14 de la EHE (2008) afirma, “la magnitud de pérdida de consistencia es función del tipo, longitud y cuantía de fibras dispuestas”, así mismo se pudo comprobar que para una misma dosificación de fibras de acero de igual longitud (60 mm), las fibras de mayor esbeltez presentan mayor disminución de consistencia del concreto fresco; presentando un comportamiento similar al que afirma el anejo 14 de la EHE: 2008.

4.2. ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO SIMPLE

Concreto de prueba.

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 05/10/2018

Fecha de ensayo: 12/10/2018

Tabla 16 – Resultados de resistencia a compresión del concreto de prueba a los 7 días

Ensayo N°	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de f'c	Esfuerzo Pm (kg/cm ²)
1	15.03	287.98	165.511	78.815	171.665
2	15.12	318.33	180.783	86.087	
3	15.13	297.45	168.701	80.334	

Concreto patrón.

f'c = 210 kg/cm²

Fecha de elaboración: 16/10/2018

Fecha de ensayo: 23/10/2018

Tabla 17 – Resultados de resistencia a compresión del concreto patrón a 7 días

Ensayo N°	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de f'c	Esfuerzo Pm (kg/cm ²)
1	15.03	322.59	185.402	88.287	186.736
2	15.12	332.68	188.932	89.968	
3	15.13	327.73	185.875	88.512	

Fecha de ensayo: 30/10/2018

Tabla 18 – Resultados de resistencia a compresión del concreto patrón a 14 días

Ensayo N°	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de f'c	Esfuerzo Pm (kg/cm ²)
1	15.03	396.5	227.881	108.515	224.782
2	15.12	392.00	222.620	106.010	
3	15.13	394.68	223.846	106.593	

Fecha de ensayo: 13/11/2018

Tabla 19 – Resultados de resistencia a compresión del concreto patrón a 28 días

Ensayo N°	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de f'c	Esfuerzo Pm (kg/cm ²)
1	15.03	480.34	276.066	131.460	277.133
2	15.12	482.43	273.976	130.465	
3	15.13	496.08	281.356	133.979	

Los resultados de la tabla 19 corresponden a ensayos a compresión axial del concreto patrón a los 28 días, los cuales serán tomados como referencia para la comparación con el concreto reforzado con fibras de acero.

4.3. ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

Tipo de fibra 3D 80/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 17/10/2018

Fecha de ensayo: 14/11/2018

Tabla 20 – Resultados de resistencia a compresión del CRFA 3D 80/60BG a 28 días

	Dosificación n (Kg/m ³)	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de f'c	Esfuerzo Pm (kg/cm ²)
M2-01	10	15.10	422.45	240.549	114.547	241.282
M2-02		15.10	419.73	239.000	113.810	
M2-03		15.04	425.63	244.298	116.332	
M2-01	15	15.07	420.45	240.365	114.459	242.239
M2-02		14.97	419.44	243.001	115.715	
M2-03		15.06	425.11	243.351	115.882	
M2-01	20	15.15	464.72	262.875	125.178	264.392
M2-02		15.22	474.55	265.972	126.653	
M2-03		15.13	466.06	264.330	125.871	

Tipo de fibra 3D 65/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 16/11/2018

Fecha de ensayo: 14/12/2018

Tabla 21 – Resultados de resistencia a compresión del CRFA 3D 65/60BG a 28 días

	Dosificación (Kg/m ³)	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de f'c	Esfuerzo Pm (kg/cm ²)
M1-01	15	15.16	436.59	246.637	117.446	243.192
M1-02		15.20	435.42	244.683	116.516	
M1-03		15.25	426.78	238.258	113.456	
M1-01	20	15.20	463.07	260.223	123.916	261.649
M1-02		15.25	471.70	263.335	125.398	
M1-03		15.15	462.09	261.389	124.471	
M1-01	25	15.15	489.10	276.665	131.745	282.497
M1-02		15.20	507.90	285.413	135.911	
M1-03		15.20	507.90	285.413	135.911	

Tipo de fibra 4D 55/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 18/10/2018

Fecha de ensayo: 15/11/2018

Tabla 22 – Resultados de resistencia a compresión del CRFA 4D 55/60 BG a 28 días

	Dosificación n (Kg/m ³)	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de f'c	Esfuerzo Pm (kg/cm ²)
M3-01	20	15.10	433.13	246.631	117.443	244.937
M3-02		15.14	430.37	243.766	116.079	

M3-03		15.20	434.94	244.413	116.387	
M3-01	25	15.15	511.86	289.540	137.876	291.752
M3-02		15.09	503.30	286.966	136.651	
M3-03		15.10	524.66	298.749	142.261	
M3-01	30	15.18	475.06	267.662	127.458	267.060
M3-02		15.16	480.08	271.205	129.145	
M3-03		15.28	471.72	262.313	124.911	

Tipo de fibra 3D 45/35BL

$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 20/10/2018

Fecha de ensayo: 17/11/2018

Tabla 23 – Resultados de resistencia a compresión del CRFA 3D 45/35BL a 28 días

	Dosificación (Kg/m ³)	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de f'_c	Esfuerzo Pm (kg/cm ²)
M4-01	30	15.15	295.16	166.961	79.505	166.521
M4-02		15.27	296.02	164.826	78.489	
M4-03		15.13	295.82	167.777	79.894	
M4-01	35	15.21	305.62	171.516	81.675	172.164
M4-02		15.15	306.00	173.093	82.425	
M4-03		15.16	304.26	171.881	81.848	
M4-01	40	15.19	345.73	194.538	92.637	194.647
M4-02		15.17	346.7	195.598	93.142	
M4-03		15.16	343.07	193.806	92.288	

Las tablas 20 al 23 muestran los resultados y el promedio de resistencia a compresión de tres muestras de CRFA por cada dosificación y tipo de fibra, en ellas se observa que la dosificación de fibras de acero influye ligeramente en la resistencia a compresión del concreto.

De acuerdo a la tabla 20 las fibras de acero produjeron un descenso mínimo de resistencia promedio a compresión de -12.741 kg/cm^2 (- 4.59%), respecto del concreto patrón sin fibras, esto puede ser debido a la deficiente adherencia fibra-matriz producido por el aumento de la superficie específica aportada por las fibras y la cantidad constante de pasta de cemento que no es suficiente para cubrir con eficacia toda la superficie de los materiales constituyentes del concreto.

De acuerdo a la tabla 21 para una dosificación de 25 kg/m^3 de fibras de acero se produjo un aumento de resistencia a compresión promedio, respecto al concreto patrón de 5.353 kg/cm^2 (+1.93%), esto concuerda con lo mencionado en el ACI 544.3R: 2008, “el incremento de resistencia última a compresión está ligeramente

afectado por la inclusión de fibras, con incrementos de 0-15% respecto de concretos similares sin fibras”. Para las dosificaciones 15 y 20 kg/m³, se observa una disminución de resistencia a compresión, esto puede ser debido a la disminución de cemento (-29%); ya que incrementarse la superficie específica aportado por las fibras, se debilita la adherencia fibra-matriz debido a la deficiencia de cemento, sin embargo, se observa que a mayor dosificación de fibras de acero se obtiene mayor resistencia, superando en estos casos la cohesión de las fibras a la deficiente adherencia fibra-matriz. “si bien el incremento puede ser mínimo, también puede disminuir”, afirma el comité 544 del ACI, 1988 y estudios realizados por Yazici S. (2007), Mármol P. (2010).

De acuerdo a la tabla 22, para una dosificación de fibras de acero de 25 kg/m³, se produce un incremento de resistencia a compresión promedio de 14.619 kg/cm² (+ 5.27%), respecto al concreto patrón sin fibras, esto puede ser debido al doble anclaje de sus extremos que presentan las fibras Dramix 4D, lo cual produce un incremento de adherencia fibra-matriz. En las dosificaciones de 20 y 30 kg/m³, el descenso de la resistencia puede deberse a las causas indicadas anteriormente.

De acuerdo a la tabla 23, se tiene un descenso de resistencia promedio a la compresión, respecto al concreto patrón sin fibras, esto puede ser debido al aumento considerable de superficie específica provocado por una mayor dosificación de fibras (30kg/m³), las cuales al presentar un menor diámetro (35 mm), habrá una mayor cantidad de fibras de acero que deben ser cubiertas con pasta de cemento la cual es insuficiente y por tanto la adherencia fibra-matriz del concreto se debilita.

Sin embargo, también se observa que la resistencia promedio a compresión se incrementa conforme la dosificación se incrementa, pero en algunos casos no alcanza superar la resistencia obtenida en el concreto patrón sin fibras.

Los tipos de patrones de fractura obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión axial del concreto, están entre tipo 3 y tipo 5, los cuales corresponden a una falla dúctil, debido a que previo a la falla presentan una deformación plástica considerable. (ver anexo 03)

4.4. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FISURACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA) (RESISTENCIA A LA TRACCIÓN MÁXIMA)

Tipo de fibra 3D 80/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 17/10/2018

Fecha de ensayo: 14/11/2018

Tabla 24 – Resultados de resistencia a fisuración del CRFA 3D 80/60BG a 28 días.

	Dosificación (kg/m ³)	Altura (cm)	Carga Pf (kN)	fct (N/mm ²)	fct Pm (N/mm ²)	CV
M1 - 01	10	15.10	94.75	2.367	2.389	3.70
M1 - 02		15.30	93.66	2.309		
M1 - 03		15.24	97.66	2.418		
M1 - 04		15.20	98.93	2.455		
M1 - 05		15.12	100.52	2.508		
M1 - 06		15.21	91.74	2.275		
M1 - 01	15	15.30	100.34	2.474	2.453	1.61
M1 - 02		15.04	99.10	2.486		
M1 - 03		15.20	99.58	2.472		
M1 - 04		15.20	99.07	2.459		
M1 - 05		15.05	97.89	2.454		
M1 - 06		15.10	95.10	2.376		
M1 - 01	20	15.30	100.34	2.474	2.556	2.53
M1 - 02		15.30	107.25	2.644		
M1 - 03		15.30	103.02	2.540		
M1 - 04		15.30	101.26	2.497		
M1 - 05		15.30	104.58	2.579		
M1 - 06		15.15	104.45	2.601		

Tipo de fibra 3D 65/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 16/11/2018

Fecha de ensayo: 14/12/2018

Tabla 25 – Resultados de resistencia a fisuración del CRFA 3D 65/60BG a 28 días

	Dosificación (kg/m ³)	Altura (cm)	Carga Pf (kN)	fct (N/mm ²)	fct Pm (N/mm ²)	CV
M2 - 01	15	15.10	107.87	2.695	2.635	5.86
M2 - 02		15.20	108.07	2.682		
M2 - 03		15.21	111.80	2.773		
M2 - 04		15.24	107.87	2.670		

M2 - 05		15.10	106.30	2.656		
M2 - 06		15.30	94.53	2.577		
M2 - 01	20	15.25	111.80	2.766	2.665	7.59
M2 - 02		15.30	112.78	2.781		
M2 - 03		15.12	101.99	2.545		
M2 - 04		15.11	107.87	2.693		
M2 - 05		15.30	94.15	2.568		
M2 - 06		15.14	115.72	2.884		
M2 - 01		25	15.15	110.16		
M2 - 02	15.10		116.07	2.950		
M2 - 03	15.21		103.07	2.829		
M2 - 04	15.05		111.97	2.932		
M2 - 05	15.03		106.87	2.959		
M2 - 06	15.20		113.97	2.878		

Tipo de fibra 4D 55/60BG

$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 18/10/2018

Fecha de ensayo: 15/11/2018

Tabla 26 – Resultados de resistencia a fisuración del CRFA 4D 55/60BG

	Dosificación (kg/m^3)	Altura (cm)	Carga Pf (kN)	f_{ct} (N/mm^2)	$f_{ct} P_m$ (N/mm^2)	CV
M3 - 01	20	15.30	106.49	2.63	2.67	3.53
M3 - 02		15.30	113.84	2.81		
M3 - 03		15.30	107.72	2.66		
M3 - 04		15.30	111.11	2.74		
M3 - 05		15.16	106.61	2.65		
M3 - 06		15.30	102.80	2.53		
M3 - 01	25	15.01	115.44	2.90	2.76	4.79
M3 - 02		15.10	113.84	2.84		
M3 - 03		15.07	107.19	2.68		
M3 - 04		15.30	112.22	2.77		
M3 - 05		15.26	102.74	2.54		
M3 - 06		15.20	114.34	2.84		
M3 - 01	30	15.20	111.91	2.78	2.76	3.18
M3 - 02		14.95	110.64	2.79		
M3 - 03		14.95	104.42	2.63		
M3 - 04		15.30	116.63	2.88		
M3 - 05		15.30	109.03	2.69		
M3 - 06		15.30	114.27	2.82		

Tipo de fibra 3D 45/35BL

$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 20/10/2018

Fecha de ensayo: 17/11/2018

Tabla 27 – Resultados de resistencia a fisuración del CRFA 3D 45/35BL

	Dosificación (kg/m ³)	Altura (cm)	Carga Pf (kN)	fct (N/mm ²)	fct Pm (N/mm ²)	CV
M4 - 01	30	15.30	77.22	1.904	1.893	5.96
M4 - 02		15.19	74.71	1.855		
M4 - 03		15.25	77.96	1.929		
M4 - 04		15.30	70.87	1.747		
M4 - 05		15.30	74.52	1.837		
M4 - 06		15.30	84.52	2.084		
M4 - 01	35	15.30	84.25	2.077	1.949	4.18
M4 - 02		15.30	78.67	1.940		
M4 - 03		15.19	78.05	1.938		
M4 - 04		15.30	76.33	1.882		
M4 - 05		15.16	74.52	1.854		
M4 - 06		15.30	81.28	2.004		
M4 - 01	40	15.25	77.52	1.918	2.031	4.18
M4 - 02		15.15	79.97	1.991		
M4 - 03		15.30	84.80	2.091		
M4 - 04		15.30	86.67	2.137		
M4 - 05		15.24	79.42	1.966		
M4 - 06		15.30	84.44	2.082		

Las tablas 24 al 27 muestran los resultados y el promedio de resistencia a fisuración de seis muestras de CRFA por cada dosificación y tipo de fibra, en ellas se observa que la dosificación de fibras de acero influye en los resultados incrementando la resistencia a la fisuración conforme se incrementa la dosificación.

El incremento de resistencia a la fisuración, se debe a la adición de fibras de acero, las cuales soportan las fuerzas de tensión principalmente, dándole al concreto la capacidad de deformarse ante cualquier carga impuesta (ductilidad)

Así mismo los resultados tienen menor variabilidad (< 20%) con respecto a otros métodos (Aire C et al. 2013), lo cual muestra la homogeneidad de los resultados del ensayo Barcelona. El menor coeficiente de variación obtenido probablemente se debe a la homogeneidad del material, “las fibras utilizadas en el concreto reforzado son discontinuas, presentan distribución discreta y uniforme que concede al material gran isotropía y homogeneidad”, afirma Fernández Cánovas, (2003)

Los resultados obtenidos confirman lo mencionado en el anejo 14 de la EHE:2008, “la adición de fibras modifica el comportamiento no lineal del concreto estructural,

principalmente en tracción”; así mismo, Corcino A, V. (2007), Figueroa A, M. (20013), Mármol S, P. (2010) afirman, “la adición de fibras mejora la resistencia a fisuración del concreto”, lo cual se comprueba con los resultados obtenidos.

De acuerdo a los resultados de la tabla 24, Se tiene una resistencia a fisuración promedio de 2.389 N/mm² para la dosificación mínima de 10 kg/m³ de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1.

Para dosificaciones de 15 y 20 kg/m³ de fibras de acero de igual longitud (60 mm), se observa que las fibras de mayor esbeltez (80) produjeron una ligera menor resistencia a la fisuración, comparada con las fibras de menor esbeltez (65), y para la dosificación de 20 kg/m³ también presentaron una ligera menor resistencia, comparada con las fibras 4D de esbeltez (55), esto puede ser debido a la disminución de cemento (-29%) que se utilizó en la investigación, puesto que al incrementar la esbeltez de las fibras de acero, habrá una mayor cantidad de ellas comparada con las fibras de menor esbeltez, con lo cual se debilita la adherencia fibra-matriz debido a la menor proporción de pasta de cemento, la cual influye en la resistencia a la fisuración del CRFA, disminuyéndola.

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra estuvieron entre 1.61 y 3.70%.

De acuerdo a los resultados de la tabla 25, se tiene una resistencia a fisuración promedio de 2.635 N/mm² para la dosificación mínima de 15 kg/m³ de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1; así también para dosificaciones de 15 y 20 kg/m³ de fibras de acero de igual longitud (60 mm), las fibras de esbeltez (65) produjeron una resistencia ligeramente mayor a la resistencia producida por las fibras de esbeltez (80) y a su vez, para dosificaciones de 20 y 25 kg/m³, produjeron una resistencia ligeramente menor a la producida por las fibras de acero 4D de esbeltez (55)

Si bien para fibras de acero de igual longitud, las fibras de mayor esbeltez producen una red o entramado con un mayor número de fibras actuando en la matriz del concreto, haciendo más eficiente y mejorando la redistribución de carga o de los esfuerzos (Anejo 14 de la EHE: 2008), la menor resistencia a la fisuración que se obtuvo de las fibras de esbeltez (80), probablemente se debe a la disminución de cemento (-29%) que se utilizó en la investigación, esto es, al

incrementarse la superficie específica aportada por las fibras, la cantidad de pasta de cemento es insuficiente para cubrir los elementos constituyentes del concreto, generando una deficiente adherencia fibra-matriz, disminuyendo la resistencia a la fisuración.

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra estuvieron entre 4.42 y 7.59%.

De acuerdo a los resultados de la tabla 26, se tiene una resistencia a fisuración promedio de 2.67 N/mm^2 para la dosificación mínima de 20 kg/m^3 de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1; así también para dosificaciones de 20 y 25 kg/m^3 de fibras de acero de igual longitud (60 mm), las fibras de acero 4D de esbeltez (55) producen una resistencia a la fisuración ligeramente mayor, comparada con las fibras 3D de esbeltez (65) y a su vez, para la dosificaciones de 30 kg/m^3 , produjeron una resistencia a la fisuración mayor a la producida por las fibras de acero 3D de esbeltez (45).

El mayor incremento de resistencia a la fisuración que producen el tipo de fibras 4D, es probablemente debido al doble anclaje de sus extremos, el cual permite una mejor adherencia fibra-matriz. Fernández Cánovas, (2003) afirma, “el efecto de la acción reforzante y la eficacia de transmitir esfuerzos es función de varios factores, pero en especial, de la naturaleza y tipo de fibra utilizado”.

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra estuvieron entre 3.18 y 4.79%. De acuerdo a los resultados de la tabla 27, se obtuvo una resistencia a fisuración promedio de 1.893 N/mm^2 para la dosificación mínima de 30 kg/m^3 de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1; así mismo se observa que para la dosificación de 30 kg/m^3 de fibras de acero de longitud (35 mm) y esbeltez (45), estas producen menor resistencia a la fisuración, comparada con las fibras de acero 4D de longitud (60mm) de esbeltez (55).

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra estuvieron entre 4.18 y 5.96%.

4.5. ENSAYOS DE RESISTENCIA RESIDUAL DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

Tipo de fibra 3D 80/60BG

$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 17/10/2018

Fecha de ensayo: 14/11/2018

Tabla 28 – Resultados de resistencia residual del CRFA 3D 80/60BG a 28 días

	Dosificación (kg/m^3)	Carga PRX 2 mm (N)	Carga PRX 2.5 mm (N)	Carga PRX 4 mm (N)	Carga PRX 6 mm (N)	fctRx (2 mm) (N/mm^2)	fctRx (2.5 mm) (N/mm^2)	fctRx (4 mm) (N/mm^2)	fctRx (6 mm) (N/mm^2)	fctRx Pm (2 mm) (N/mm^2)	CV (2mm)	CV (2.5mm)	CV (4mm)	CV (6mm)
M1-01	10	20000.00	18500.00	15300.00	13250.00	0.500	0.462	0.382	0.331	0.532	7.02	6.01	4.05	5.49
M1-02		21000.00	19000.00	16360.00	13500.00	0.518	0.468	0.403	0.333					
M1-03		21900.00	19630.00	15910.00	14150.00	0.542	0.486	0.394	0.350					
M1 -04		22300.00	20100.00	16010.00	14200.00	0.553	0.499	0.397	0.352					
M1-05		23620.00	20800.00	16150.00	14400.00	0.589	0.519	0.403	0.359					
M1-06		19700.00	17650.00	14600.00	12450.00	0.489	0.438	0.362	0.309					
M1-01	15	28100.00	25800.00	20600.00	17440.00	0.693	0.636	0.508	0.430	0.632	6.11	7.02	7.36	6.28
M1-02		25400.00	23150.00	18500.00	15750.00	0.637	0.581	0.464	0.395					
M1-03		26500.00	24260.00	19240.00	16200.00	0.658	0.602	0.478	0.402					
M1 -04		24800.00	22400.00	17730.00	15500.00	0.616	0.556	0.440	0.385					
M1-05		24100.00	21700.00	17100.00	15150.00	0.604	0.544	0.429	0.380					
M1-06		23500.00	21100.00	16750.00	14270.00	0.587	0.527	0.418	0.357					
M1-01	20	26500.00	23710.00	18610.00	16830.00	0.653	0.585	0.459	0.415	0.714	6.36	6.82	8.03	6.05
M1-02		31510.00	28530.00	23170.00	19900.00	0.777	0.703	0.571	0.491					
M1-03		28600.00	25100.00	20000.00	18100.00	0.705	0.619	0.493	0.446					
M1 -04		27400.00	24500.00	19420.00	17600.00	0.676	0.604	0.479	0.434					
M1-05		30130.00	26960.00	21730.00	19120.00	0.743	0.665	0.536	0.471					
M1-06		29360.00	25950.00	20800.00	18700.00	0.731	0.646	0.518	0.466					

Tipo de fibra 3D 65/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 16/11/2018

Fecha de ensayo: 14/12/2018

Tabla 29 – Resultados de resistencia residual del CRFA 3D 65/60BG a 28 días

	Dosificación n (kg/m ³)	Carga PRX 2 mm (N)	Carga PRX 2.5 mm (N)	Carga PRX 4 mm (N)	Carga PRX 6 mm (N)	fctRx (2 mm) (N/mm ²)	fctRx (2.5 mm) (N/mm ²)	fctRx (4 mm) (N/mm ²)	fctRx (6 mm) (N/mm ²)	fctRx Pm (2 mm) (N/mm ²)	CV (2mm)	CV (2.5mm)	CV (4mm)	CV (6mm)
M2-01	15	29000.00	26410.00	20100.00	16700.00	0.725	0.660	0.502	0.417	0.748	6.68	7.15	7.53	7.18
M2-02		31500.00	27800.00	21110.00	17210.00	0.782	0.690	0.524	0.427					
M2-03		32500.00	28500.00	21610.00	17850.00	0.806	0.707	0.536	0.443					
M2-04		31200.00	27500.00	21300.00	16910.00	0.772	0.681	0.527	0.419					
M2-05		29420.00	25300.00	19670.00	16330.00	0.735	0.632	0.491	0.408					
M2-06		27030.00	23430.00	17560.00	14450.00	0.666	0.578	0.433	0.356					
M2-01	20	30510.00	27300.00	22050.00	19040.00	0.755	0.675	0.545	0.471	0.755	7.43	11.05	10.56	10.26
M2-02		32100.00	32100.00	23200.00	19750.00	0.791	0.791	0.572	0.487					
M2-03		29350.00	25800.00	20100.00	16640.00	0.732	0.644	0.502	0.415					
M2-04		28900.00	26200.00	20900.00	17800.00	0.722	0.654	0.522	0.444					
M2-05		27830.00	24500.00	19210.00	15850.00	0.686	0.604	0.474	0.391					
M2-06		33900.00	31250.00	25500.00	20720.00	0.845	0.779	0.635	0.516					
M2-01	25	32800.00	30400.00	24830.00	19450.00	0.817	0.757	0.618	0.484	0.819	5.96	6.30	5.90	6.14
M2-02		35640.00	33200.00	26520.00	21230.00	0.890	0.829	0.663	0.530					
M2-03		30200.00	27700.00	22520.00	17970.00	0.749	0.687	0.559	0.446					
M2-04		33900.00	31200.00	25300.00	20070.00	0.850	0.782	0.634	0.503					
M2-05		31400.00	29200.00	23580.00	18830.00	0.788	0.733	0.592	0.473					
M2-06		33100.00	31000.00	25400.00	20600.00	0.822	0.769	0.630	0.511					

Tipo de fibra 4D 55/60BG

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 18/10/2018

Fecha de ensayo: 15/11/2018

Tabla 30 – Resultados de resistencia residual del CRFA 4D 55/60BG, a 28 días

	Dosificación n (kg/m ³)	Carga PRX 2 mm (N)	Carga PRX 2.5 mm (N)	Carga PRX 4 mm (N)	Carga PRX 6 mm (N)	fctRx (2 mm) (N/mm ²)	fctRx (2.5 mm) (N/mm ²)	fctRx (4 mm) (N/mm ²)	fctRx (6 mm) (N/mm ²)	fctRx Pm (2 mm) (N/mm ²)	CV (2mm)	CV (2.5mm)	CV (4mm)	CV (6mm)
M3-01	20	29000.00	26400.00	22550.00	20100.00	0.715	0.651	0.556	0.496	0.772	9.01	9.33	7.67	6.49
M3-02		35400.00	32500.00	26600.00	23150.00	0.873	0.801	0.656	0.571					
M3-03		31700.00	28900.00	23750.00	20970.00	0.782	0.713	0.586	0.517					
M3-04		33500.00	30800.00	25500.00	21950.00	0.826	0.759	0.629	0.541					
M3-05		30270.00	27600.00	23120.00	20500.00	0.753	0.687	0.575	0.510					
M3-06		27810.00	25410.00	21710.00	19300.00	0.686	0.627	0.535	0.476					
M3-01	25	38010.00	35430.00	30950.00	27350.00	0.955	0.890	0.778	0.687	0.832	9.90	9.73	9.15	7.19
M3-02		34150.00	32010.00	28310.00	25550.00	0.853	0.800	0.707	0.638					
M3-03		30760.00	28740.00	25450.00	23610.00	0.770	0.719	0.637	0.591					
M3-04		32550.00	30450.00	27210.00	24750.00	0.803	0.751	0.671	0.610					
M3-05		29420.00	27650.00	24520.00	22670.00	0.727	0.684	0.606	0.560					
M3-06		35560.00	33360.00	29430.00	26030.00	0.883	0.828	0.730	0.646					
M3-01	30	44810.00	42510.00	37610.00	33880.00	1.112	1.055	0.933	0.841	1.11	5.49	5.73	5.76	5.14
M3-02		43600.00	41600.00	37100.00	33560.00	1.100	1.050	0.936	0.847					
M3-03		40800.00	38400.00	33920.00	30750.00	1.030	0.969	0.856	0.776					
M3-04		47120.00	44590.00	39400.00	34950.00	1.162	1.099	0.971	0.862					
M3-05		43050.00	40900.00	36460.00	33180.00	1.061	1.008	0.899	0.818					
M3-06		48400.00	46100.00	40950.00	36710.00	1.193	1.137	1.010	0.905					

Tipo de fibra 3D 45/35BL

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 20/10/2018

Fecha de ensayo: 17/11/2018

Tabla 31 – Resultados de resistencia residual del CRFA 3D 45/35BL a 28 días

	Dosificación (kg/m ³)	Carga PRX 2 mm (N)	Carga PRX 2.5 mm (N)	Carga PRX 4 mm (N)	Carga PRX 6 mm (N)	fctRx (2 mm) (N/mm ²)	fctRx (2.5 mm) (N/mm ²)	fctRx (4 mm) (N/mm ²)	fctRx (6 mm) (N/mm ²)	fctRx Pm (2 mm) (N/mm ²)	CV (2mm)	CV (2.5mm)	CV (4mm)	CV (6mm)
M4-01	30	22850.00	20420.00	16950.00	15320.00	0.563	0.504	0.418	0.378	0.539	10.33	10.49	8.73	7.48
M4-02		20850.00	18930.00	16180.00	14750.00	0.518	0.470	0.402	0.366					
M4-03		22530.00	20740.00	17200.00	15570.00	0.557	0.513	0.425	0.385					
M4-04		19100.00	17190.00	14860.00	13750.00	0.471	0.424	0.366	0.339					
M4-05		20200.00	18410.00	15810.00	14420.00	0.498	0.454	0.390	0.356					
M4-06		25450.00	23110.00	19140.00	17050.00	0.628	0.570	0.472	0.420					
M4-01	35	24510.00	22650.00	19910.00	18310.00	0.604	0.558	0.491	0.451	0.540	7.88	7.83	7.59	7.46
M4-02		21950.00	20510.00	18120.00	16830.00	0.541	0.506	0.447	0.415					
M4-03		21200.00	19830.00	17450.00	16500.00	0.527	0.492	0.433	0.410					
M4-04		20200.00	18810.00	16860.00	15650.00	0.498	0.464	0.416	0.386					
M4-05		19950.00	18310.00	16050.00	14750.00	0.496	0.456	0.399	0.367					
M4-06		23230.00	21510.00	18950.00	17550.00	0.573	0.530	0.467	0.433					
M4-01	40	19950.00	18420.00	16610.00	15500.00	0.494	0.456	0.411	0.383	0.558	10.77	11.50	12.13	11.51
M4-02		21520.00	20120.00	18230.00	16850.00	0.536	0.501	0.454	0.420					
M4-03		25120.00	23740.00	21720.00	19970.00	0.619	0.585	0.536	0.492					
M4-04		25850.00	24310.00	22360.00	20650.00	0.637	0.599	0.551	0.509					
M4-05		20210.00	18820.00	17130.00	16100.00	0.500	0.466	0.424	0.399					
M4-06		22810.00	21650.00	19650.00	18350.00	0.562	0.534	0.485	0.452					

Las tablas 28 al 31 muestran los resultados y el promedio de resistencia residual de seis muestras de CRFA por cada dosificación y tipo de fibra, para una deformación circunferencial de 2, 2.5, 4 y 6mm, en ellas se observa que la dosificación de fibras de acero influye en los resultados incrementando la resistencia residual conforme se incrementa la dosificación, y a la vez esta disminuye conforme se incrementa la deformación circunferencial.

El aumento de resistencia residual debido a la adición de fibras de acero le permiten al concreto seguir soportando cargas después de ocurrir las primeras fisuras antes de colapsar. El concreto normal simplemente colapsa una vez fisurada la matriz, en el concreto reforzado con fibras, la falla y el colapso tienen lugar mucho después de ocurridas las primeras fisuras.

Así mismo se observa que los coeficientes de variación (CV) de los resultados obtenidos son menores respecto a otros métodos, lo cual muestra la homogeneidad de los mismos.

Los resultados obtenidos confirman lo mencionado por Massicotte B., 2000, el cual afirma, “la inclusión de fibras modifica las propiedades mecánicas del concreto rigidizando ligeramente la respuesta en la fase pre-fisura respecto al concreto normal y de forma destacada, aportan capacidad de resistencia residual post fisura debido al efecto de cosido de los bordes de la fisura”, así mismo Zarate Garnica, Gl., (2015), Beresovsky de las casas, A., (2008), afirman, “el aumento de resistencia residual máxima aumenta linealmente conforme se incrementa la dosificación de fibra”, lo cual se comprueba con los resultados obtenidos.

De acuerdo a los resultados de la tabla 28, se obtuvo una resistencia residual promedio de 0.531 N/mm^2 , para una deformación de 2mm y una dosificación mínima de 10 kg/m^3 de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1; sin embargo para dosificaciones de 15 y 20 kg/m^3 de fibras de acero de 60 mm de longitud y deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm las fibras de mayor esbeltez (80) produjeron una resistencia residual ligeramente menor, comparada con las fibras de menor esbeltez (65), y para la dosificación de 20 kg/m^3 y deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm también presentaron una resistencia residual ligeramente menor comparada con las fibras 4D de esbeltez (55)

La resistencia residual final es función del tipo de fibra utilizado (Aire C et al. 2013).

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra estuvieron entre 4.05 y 7.17%.

De acuerdo a los resultados de la tabla 29, se obtuvo una resistencia residual promedio de 0.748 N/mm^2 , para una deformación de 2mm y una dosificación mínima de 15 kg/m^3 de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1. Para dosificaciones de 15 y 20 kg/m^3 de fibras de acero de igual longitud (60 mm), y deformaciones de 2, 2,5, 4 y 6mm, las fibras de esbeltez (65) produjeron una resistencia residual ligeramente mayor a la producida por las fibras de esbeltez (80) y a su vez, para dosificaciones de 20 y 25 kg/m^3 con deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm, produjeron una resistencia residual ligeramente menor a la producida por las fibras de acero 4D de esbeltez (55).

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra fueron de 5.90 a 11.05%.

De acuerdo a los resultados de la tabla 30, se obtuvo una resistencia residual promedio de 0.77 N/mm^2 , para una deformación de 2mm y una dosificación mínima de 20 kg/m^3 de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1. Para dosificaciones de 20 y 25 kg/m^3 de fibras de acero de igual longitud (60 mm), y deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm las fibras de acero 4D de esbeltez (55) produjeron una resistencia residual ligeramente mayor, comparada con las fibras 3D de esbeltez (65) y para la dosificación de 30 kg/m^3 y deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm también presentaron una resistencia residual ligeramente mayor comparada con las fibras 3D de esbeltez (45)

El mayor aumento de resistencia residual que producen las fibras 4D, es probablemente debido al doble anclaje de sus extremos, el cual permite una mejor adherencia fibra-matriz.

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra estuvieron entre 4.92 y 9.48%.

De acuerdo a los resultados de la tabla 31, se obtuvo una resistencia residual promedio de 0.538 N/mm^2 , para una deformación de 2mm y una dosificación mínima de 30 kg/m^3 de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1. Para dosificación de 30 kg/m^3 de fibras de acero de longitud (35 mm), esbeltez (45) y deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm, estas producen menor resistencia residual, comparada con las fibras de acero 4D de longitud (60mm) y esbeltez (55)

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra fueron de 7.12 a 10.27%.

4.6. ENSAYOS DE TENACIDAD DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

Tipo de fibra 3D 80/60BG

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 17/10/2018

Fecha de ensayo: 14/11/2018

Tabla 32 – Resultados de tenacidad del CRFA 3D 80/60BG a 28 días

	Dosificación (kg/m ³)	TENACIDAD (J) (2mm)	TENACIDAD (J) (2.5mm)	TENACIDAD (J) (4mm)	TENACIDAD (J) (6mm)	TENACIDAD Pm (J) (6mm)	CV (2mm)	CV (2.5mm)	CV (4mm)	CV (6mm)
M1-T1	10	63.64	88.59	176.25	326.83	300.75	7.63	7.03	5.72	10.61
M1-T2		61.31	85.27	170.09	318.10					
M1-T3		57.86	81.18	165.11	311.92					
M1-T4		55.89	78.01	157.4	298.26					
M1-T5		55.01	77.97	164.12	310.91					
M1-T6		51.56	72.78	149.63	238.48					
M1-T1	15	69.46	99.8	210.15	397.29	355.28	6.36	6.61	7.20	7.38
M1-T2		65.93	94.48	197.84	371.37					
M1-T3		62.95	90.31	189.69	356.55					
M1-T4		62.31	88.76	184.53	346.69					
M1-T5		59.83	85.58	178.01	334.98					
M1-T6		58.53	83.49	172.95	324.8					
M1-T1	20	78.28	112.05	235.15	446.84	402.22	5.59	5.87	6.68	6.80
M1-T2		74.61	106.39	220.91	419.47					
M1-T3		73.39	104.34	215.37	409.71					
M1-T4		71.96	102.02	209.17	396.70					
M1-T5		68.64	97.67	201.36	382.67					
M1-T6		67.20	95.38	195.62	369.91					

Tipo de fibra 3D 65/60BG

f_c = 210 kg/cm²

Fecha de elaboración: 16/11/2018

Fecha de ensayo: 14/12/2018

Tabla 33 – Resultados de tenacidad del CRFA 3D 65/60BG a los días

	Dosificación (kg/m ³)	TENACIDAD (J) (2mm)	TENACIDAD (J) (2.5mm)	TENACIDAD (J) (4mm)	TENACIDAD (J) (6mm)	TENACIDAD Pm (J) (6mm)	CV (2mm)	CV (2.5mm)	CV (4mm)	CV (6mm)
M2-T1	15	85.50	119.94	238.17	431.15	399.94	5.53	5.71	6.50	6.77
M2-T2		82.12	115.50	231.12	418.25					
M2-T3		77.82	110.63	225.94	410.63					
M2-T4		78.84	110.86	214.94	394.03					
M2-T5		78.40	109.16	216.24	391.86					
M2-T6		72.50	101.08	197.57	353.69					
M2-T1	20	84.01	120.78	256.31	483.50	421.66	7.09	7.47	8.70	9.46
M2-T2		79.44	113.55	237.36	448.30					
M2-T3		75.33	107.87	226.08	427.72					
M2-T4		71.92	102.76	214.23	403.18					
M2-T5		73.23	104.03	212.80	392.60					
M2-T6		69.37	98.62	202.33	374.68					
M2-T1	25	84.92	123.3	266.19	501.45	475.84	6.34	6.47	6.60	6.71
M2-T2		86.75	126.75	274.50	517.97					
M2-T3		79.70	116.12	251.33	473.33					
M2-T4		77.98	113.58	246.08	463.27					
M2-T5		77.69	113.53	248.02	473.17					
M2-T6		72.98	105.78	226.99	425.86					

Tipo de fibra 4D 55/60BG

f'c = 210 kg/cm²

Fecha de elaboración: 18/10/2018

Fecha de ensayo: 15/11/2018

Tabla 34 – Resultados de tenacidad del CRFA 4D 55/60BG, a 28 días

	Dosificación (kg/m ³)	TENACIDAD (J) (2mm)	TENACIDAD (J) (2.5mm)	TENACIDAD (J) (4mm)	TENACIDAD (J) (6mm)	TENACIDAD Pm (J) (6mm)	CV (2mm)	CV (2.5mm)	CV (4mm)	CV (6mm)
M3-T1	20	87.60	125.52	265.97	511.72	456.17	10.1	9.8	9.0	8.2
M -T2		81.66	117.80	252.09	485.99					
M3-T3		76.95	110.98	236.71	457.35					
M3-T4		72.88	105.19	225.90	440.84					
M3-T5		70.83	101.90	219.39	429.85					
M3-T6		66.44	96.29	209.66	411.28					
M3 -T1	25	91.70	133.08	292.54	581.25	517.74	10.6	10.2	9.6	8.6
M3-T2		84.44	123.57	274.74	548.95					
M3-T3		80.50	117.92	262.75	529.19					
M3-T4		76.44	111.83	250.06	507.14					
M3-T5		72.72	106.08	236.22	479.47					
M3-T6		68.57	100.73	226.27	460.46					
M3-T1	30	109.11	162.26	372.72	757.94	697.18	5.1	5.4	5.9	6.0
M3-T2		104.36	155.76	358.62	726.85					
M3-T3		100.29	149.44	343.20	697.31					
M3-T4		99.31	147.43	337.61	687.12					
M3-T5		99.21	146.73	333.97	678.93					
M3-T6		94.03	138.82	314.06	634.93					

Tipo de fibra 3D 45/35BL

f'c = 210 kg/cm²

Fecha de elaboración: 20/10/2018

Fecha de ensayo: 17/11/2018

Tabla 35 – Resultados de tenacidad del CRFA 3D 45/35BL a 28 días

	Dosificación (kg/m ³)	TENACIDAD (J) (2mm)	TENACIDAD (J) (2.5mm)	TENACIDAD (J) (4mm)	TENACIDAD (J) (6mm)	TENACIDAD Pm (J) (6mm)	CV (2mm)	CV (2.5mm)	CV (4mm)	CV (6mm)
M4-T1	30	63.75	91.17	191.77	377.59	323.34	11.10	10.93	10.22	9.75
M4-T2		57.12	81.55	171.56	333.60					
M4-T3		56.21	80.43	169.24	328.24					
M4-T4		51.22	73.49	157.09	310.86					
M4-T5		49.73	71.52	153.03	302.63					
M4-T6		47.25	67.69	144.23	287.13					
M4-T1	35	60.66	87.34	188.9	374.19	339.64	8.22	8.18	7.91	7.42
M4-T2		57.29	82.56	179.07	359.22					
M4-T3		54.58	78.67	171.33	345.27					
M4-T4		52.26	75.53	164.9	333.68					
M4-T5		50.02	72.13	157.83	319.26					
M4-T6		49.10	70.67	153.14	306.20					
M4-T1	40	60.16	88.45	201.22	415.45	360.59	8.40	9.21	10.86	11.36
M4-T2		57.76	85.23	194.34	401.34					
M4-T3		53.57	78.67	177.47	365.52					
M4-T4		52.33	75.8	167.49	341.05					
M4-T5		49.02	71.11	157.4	323.74					
M4-T6		49.26	71.11	155.35	316.44					

Las tablas 32 al 35 muestran los resultados y el promedio de tenacidad de seis muestras de CRFA por cada dosificación y tipo de fibra, para una deformación circunferencial de 2, 2.5, 4 y 6mm, en ellas se observa que la dosificación de fibras de acero influye en los resultados incrementando la tenacidad conforme se incrementa la dosificación y la deformación circunferencial.

El incremento de tenacidad es debido a la inclusión de fibras de acero que confiere al concreto capacidad de deformarse y resistir los esfuerzos de manera simultánea frente a la aplicación de cargas.

La energía absorbida por un CRF es función de la proporción, longitud, geometría, resistencia y ductilidad de las fibras usadas, así como del contenido de cemento, cantidad y tamaño del agregado, relación agua/cemento, edad y curado del concreto (Fernández Cánovas, 2003)

Así mismo se tiene que el coeficiente de variación (CV) de los resultados obtenidos tienen menor variabilidad (< 20%) con respecto a otros métodos, lo cual muestra su homogeneidad.

Los resultados obtenidos confirman lo mencionado por Corcino A, VC (2007), “el CRFA, mejora la capacidad de deformarse dándole mayor tenacidad y ductilidad”, así mismo Zarate Garnica, Gl., (2015), afirma, “incluir mayor número de fibras al concreto (hasta el límite fijado) mejora la tenacidad a fractura puesto que depende de la cantidad de fibras en la zona donde se produce la primera fisura”, en flexotracción la adición de fibras de acero al concreto cambia el comportamiento de rotura frágil a una rotura dúctil, incrementando la tenacidad (Mármol S, P., 2010)

De acuerdo a los resultados de la tabla 32, se obtuvo una tenacidad promedio de 300.75 J, para una deformación de 6mm y una dosificación mínima de 10 kg/m³ de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1; sin embargo para dosificaciones de 15 y 20 kg/m³ de fibras de acero de igual longitud (60 mm) y deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm, se observa que las fibras de mayor esbeltez (80) produjeron una menor tenacidad, comparada con las fibras de esbeltez menor (65), y para la dosificación de 20 kg/m³ y deformaciones de 2,

2.5, 4 y 6mm también presentaron una tenacidad menor comparada con las fibras 4D de esbeltez (55).

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra estuvieron entre 5.59 y 10.61%.

De acuerdo a los resultados de la tabla 33, se obtuvo una tenacidad promedio de 399.94 J, para una deformación de 6mm y una dosificación mínima de 15 kg/m³ de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1; así también para dosificaciones de 15 y 20 kg/m³ de fibras de acero de igual longitud (60 mm), y deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm, las fibras de esbeltez (65) produjeron una tenacidad mayor a la producida por las fibras de esbeltez (80) y a su vez, para dosificaciones de 20 y 25 kg/m³ con deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm, produjeron una tenacidad menor a la producida por las fibras de acero 4D de esbeltez (55).

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra estuvieron entre 5.53 y 9.46%.

De acuerdo a los resultados de la tabla 34, se obtuvo una tenacidad promedio de 456.17 J, para una deformación de 6mm y una dosificación mínima de 20 kg/m³ de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1; así también se observa que para dosificaciones de 20 y 25 kg/m³ de fibras de acero de igual longitud (60 mm), y deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm las fibras de acero 4D de esbeltez (55) producen una tenacidad mayor, comparada con las fibras 3D de esbeltez (65) y para la dosificación de 30 kg/m³ y deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm también presentaron una tenacidad mayor comparada con las fibras 3D de esbeltez (45)

El mayor aumento de tenacidad que producen este tipo de fibras 4D, es probablemente debido al doble anclaje de sus extremos, el cual permite una mejor adherencia fibra-matriz. Nemkumar B. (1995), afirma, “la variable que más influye en la tenacidad es la capacidad adherente de las fibras”.

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra estuvieron entre 5.1 y 10.6%.

De acuerdo a los resultados de la tabla 35, se obtuvo una tenacidad promedio de 323.34 J, para una deformación de 6mm y una dosificación mínima de 30 kg/m³ de fibras de acero especificada por Certificación Europea acorde con EN 14889-1; así mismo se observa para la dosificación de 30 kg/m³ de fibras de acero de

longitud (35 mm), esbeltez (45) y deformaciones de 2, 2.5, 4 y 6mm, estas producen una menor tenacidad, comparada con las fibras de acero 4D de longitud (60mm) y esbeltez (55)

Con respecto a las características geométricas de las fibras de acero, “a menor diámetro con igual longitud se obtiene mayor número de fibras, asimismo, a mayor diámetro desarrolla mejor **tenacidad y ductilidad**”, afirma, Corcino A, VC., (2007)

Los coeficientes de variación para este tipo de fibra estuvieron entre 7.42 y 11.36%.

CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA HIPÓTESIS

Conforme a los resultados encontrados se contrasta la hipótesis “La dosificación(kg/m^3) y esbeltez (L/d) de las fibras de acero Dramix 3D y 4D influyen incrementando la resistencia a la fisuración, resistencia residual y tenacidad del concreto reforzado con fibras, y el coeficiente de variación de los resultados obtenidos mediante el ensayo Barcelona, es inferior a 20%”.

Para los cuatro tipos de fibras de acero Dramix 3D y 4D estudiados (ver tabla 24 al 35), la dosificación aumentó la resistencia a fisuración, resistencia residual, y tenacidad, conforme se incrementó la dosificación de fibras respecto al concreto tradicional.

El concreto tradicional presenta una relación muy baja entre su resistencia a tracción y compresión, una vez fisurada la matriz el concreto sin fibras simplemente colapsa, su índice de tenacidad es la unidad (Fernández Cánovas, 2003)

En el caso de la influencia de la esbeltez de las fibras de acero Dramix 3D y 4D, en el incremento de resistencia a la fisuración, resistencia residual y tenacidad, para igual dosificación de fibras, las fibras 4D 55/60BG de esbeltez (55) produjeron valores más elevados que las fibras 3D 45/35 BL de esbeltez (45), en un 45.8% mayor para la resistencia a la fisuración, en 105.93% mayor para la resistencia residual a 2mm de deformación circunferencial y en 115.61% mayor para la tenacidad a 6mm de deformación, sin embargo las fibras 3D 80/60BG de esbeltez (80), produjeron valores ligeramente menores a los producidos por las fibras 3D 65/60 BG, de esbeltez (65), esto debido al menor factor cemento (-29%) para un concreto $f'c = 210 \text{ kg}/\text{cm}^2$, que se diseñó así para ver la influencia de la mayor

esbeltez de las fibra en el comportamiento mecánico del CRFA, lo cual comprueba lo mencionado por, Fernández Cánovas (2003), “las fibras de mayor esbeltez poseen gran eficacia en resistencia a tracción y flexotracción”.

Así mismo para los cuatro tipos de fibra de acero Dramix, 3D y 4D estudiados, se obtuvo coeficientes de variación en los resultados de resistencia a la fisuración, resistencia residual, y tenacidad menores al 20%, obtenidos mediante el ensayo Barcelona (ver tablas 24 al 35), además estos resultados presentan coeficientes de variación menores a los resultados de métodos donde se emplearon vigas, realizados por Bernard, (2002), método del ASTM 1609 en vigas de 150x150x600mm, Chao et al., (2011), Beam- Type Bending Test, obtuvieron coeficientes de variación, mayores al 20%, por tanto se demuestra que el ensayo Barcelona es un método adecuado para evaluar el concreto reforzado con fibras (CRFA), por el mejor performance en sus resultados.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En el diseño de mezcla de concreto reforzado con fibras de acero Dramix 3D y 4D (método de referencia ACI), la disminución de cemento (-29%) para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con el fin de evaluar la influencia de la esbeltez de las fibras, produce una deficiente adherencia fibra matriz.
- La dosificación de fibras de acero Dramix 3D y 4D influye disminuyendo la consistencia del concreto, conforme la dosificación aumenta para un mismo tipo de fibras. Comparando los distintos tipos de fibras, a igualdad de dosificación se tiene que la consistencia decrece al aumentar la esbeltez, así tenemos que las fibras Dramix 3D 65/60 BG, de esbeltez (65), son más trabajables que las 3D 80/60BG de esbeltez (80) y presentaron igualdad de trabajabilidad con las fibras 4D 55/60BG de esbeltez (55) y estas a su vez presentan menor trabajabilidad que las fibras 3D 45/35BL de esbeltez (45)
- La dosificación de fibras de acero influye ligeramente en la resistencia a compresión axial del concreto, se encontró que para una dosificación de 25 kg/m^3 las fibras de acero Dramix 3D 65/60BG y 4D 55/60BG, presentaron un ligero incremento de resistencia a compresión de 1.93% y 5.27% respectivamente, respecto al concreto patrón sin fibras; y las fibras 3D 80/60BG de esbeltez (80) con dosificación de 20 kg/m^3 , presentaron una disminución de 4.59%; las fibras 3D 45/35BL de esbeltez (45) con dosificación de 40 kg/m^3 , presentaron una disminución de 29.82%. La disminución de resistencia a compresión axial es causada por el incremento de superficie específica aportada por las fibras de mayor esbeltez y el menor factor cemento empleado.
- Las muestras presentaron una falla dúctil debido a la inclusión de fibras de acero las cuales le permiten al concreto deformarse antes de fallar.
- La dosificación de fibras de acero Dramix 3D y 4D influyen incrementando la resistencia a la fisuración del concreto, conforme se incrementa la dosificación para un mismo tipo de fibras, así para las fibras 3D 80/60BG, 3D 65/60BG, 4D 55/60BG, 3D 45/35BL se obtuvo una resistencia a la fisuración de 2.389, 2.635,

2.67, 1.893 N/mm², para la dosificación mínima de 10, 15, 20 y 30 kg/m³, especificada por certificación europea acorde con EN 14889-1, respectivamente. La mayor esbeltez de las fibras influye incrementando la resistencia a fisuración, así las fibras 4D 55/60 BG de esbeltez (55) produjeron una resistencia a la fisuración 45.8% mayor, comparada con las fibras 3D 45/35BL de esbeltez (45), sin embargo, las fibras 3D 80/60BG, produjeron una resistencia a la fisuración ligeramente menor, debido a la disminución de cemento a fin de verificar la influencia de la esbeltez.

- La dosificación de fibras de acero Dramix 3D y 4D influyen incrementando la resistencia residual del concreto, conforme se incrementa la dosificación para un mismo tipo de fibras, así para las fibras 3D 80/60BG, 3D 65/60BG, 4D 55/60BG, 3D 45/35BL se obtuvo una resistencia residual de 0.532, 0.748, 0.772, 0.539 N/mm², para la dosificación mínima de 10, 15, 20, 30 kg/m³, especificada por certificación europea acorde con EN 14889-1, respectivamente. La mayor esbeltez de las fibras influye en el incremento de resistencia residual, así las fibras 4D 55/60 BG de esbeltez (55) produjeron una resistencia residual 105.93% mayor, comparada con las fibras 3D 45/35BL de esbeltez (45), para una deformación circunferencial de 2mm, sin embargo, las fibras 3D 80/60BG, produjeron una resistencia residual ligeramente menor, debido a la disminución de cemento a fin de verificar la influencia de la esbeltez.
- La dosificación de fibras de acero Dramix 3D y 4D influyen incrementando la tenacidad del concreto, conforme se incrementa la dosificación para un mismo tipo de fibras, así para las fibras 3D 80/60BG, 3D 65/60BG, 4D 55/60BG, 3D 45/35BL se obtuvo una tenacidad de 300.75, 399.94, 456.17, 323.34 J, para la dosificación mínima de 10, 15, 20, 30 kg/m³, especificada por certificación europea acorde con EN 14889-1, respectivamente. La mayor esbeltez de las fibras influye en el incremento de tenacidad, así las fibras 4D 55/60 BG de esbeltez (55) produjeron una tenacidad 115.61% mayor, comparada con las fibras 3D 45/35BL de esbeltez (45), para una deformación circunferencial de 6mm, sin embargo, las fibras 3D 80/60BG, produjeron una tenacidad ligeramente menor, debido al menor factor cemento empleado con el fin de verificar la influencia de la esbeltez.

- Para dosificaciones iguales, las fibras de acero Dramix 4D 55/60BG de esbeltez (55) produjeron un incremento de resistencia a fisuración, resistencia residual, y tenacidad, mayor al que produjeron las fibras 3D, respecto a un concreto tradicional sin fibras, esto debido al doble anclaje de sus extremos.
- Los diagramas carga vs deformación circunferencial del CRFA presentan un comportamiento similar para los cuatro tipos de fibra Dramix 3D y 4D estudiados, presentan una deformación mínima previa a llegar a la carga máxima, luego de la carga máxima se produce la fisuración, el CRFA entra al estado post fisuración, ocurre un descenso brusco de carga con aumento de la deformación, luego la carga se mantiene al trabajar las fibras conjunto con el concreto.
- Los diagramas energía vs deformación del CRFA presentan un comportamiento típico para los cuatro tipos de fibras Dramix 3D y 4D estudiados, la energía presenta un crecimiento de tendencia parabólica conforme aumenta la deformación circunferencial, con lo cual se produce mayor tenacidad como el área bajo la gráfica energía-deformación.
- Se compararon los coeficientes de variación de los resultados obtenidos mediante el ensayo Barcelona y los ensayos donde se emplean vigas, encontrándose que para los tipos de fibras Dramix 3D y 4D estudiados los coeficientes son menores al 20%, así tenemos que para resistencia a la fisuración los coeficientes de variación estuvieron entre 1.61 y 7.59%, para resistencia residual estuvieron entre 4.05 y 12.13% y para tenacidad estuvieron entre 5.1 y 11.36% como máximo, con lo cual se demostró que el ensayo Barcelona es un método adecuado para evaluar el concreto reforzado con fibras por el mejor performance en sus resultados

5.2.RECOMENDACIONES

- De acuerdo al estudio realizado se debe realizar ensayos previos para determinar la dosificación exacta de fibra de acero a emplear según los índices de tenacidad o absorción de energía requerida para el concreto reforzado con fibras.
- Cuando se empleen altas dosificaciones de fibras de acero, se debe utilizar siempre adiciones (puzolana, cenizas volantes, humo de sílice) para mejorar la adherencia fibra-matriz y un aditivo plastificante para mejorar la trabajabilidad.

5.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ACI Committee 446 (1991)**, Fracture mechanics of concrete: Concepts, models and determination of material properties, ACI 446.1R.91, American Concrete Institute. 146 pp
- AENOR UNE 83515 (2010)**, concreto con fibras. Determinación de la resistencia a fisuración, tenacidad y resistencia residual a tracción. Método Barcelona, Asociación española de Normalización y Certificación. Madrid, 2010
- Aire C., Molins C. y Aguado A. (2013)**, Ensayo de doble punzonamiento para concreto reforzado con fibra: efecto del tamaño y origen de la probeta. Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo Vol 5.
- Aire C., Aguado A. y Molins C. (2013)**, “Método de doble punzonamiento de tracción indirecta para concreto reforzado con fibra: Ensayo Barcelona”. Investigación y Desarrollo. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Reporte Interno, pp. 100.
- ASTM C1609 (2012)**, “Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete”, Using Beam With Third-Point Loading, Book of Standards Vol. 04.02, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, pp 9.
- ASTM C143/C143M (1990)**, Standard test method for slump of hydraulic cement concrete. Book of Standards Volume 04.02. AST
- Bernard, E (1999)**, Correlations in the performance of fibre reinforced shotcrete beams and panels, engineering report CE9, *School of Civil Engineering and Environment. University of Western Sydney*, Nepean, Australia
- Bernard, E, y Pircher, M (2001)**, The influence of thickness on performance of fibre reinforced concrete in a round determinate panel test. *Cement, Concrete and Aggregates*, CCAGDP, **23**(1), 27-33
- Bernard, E (2002)**, Correlations in the Behaviors of Fibre Reinforced Shotcrete Beams and Panels Specimens. *Materials and Structures* 35, 156-164
- Blanco, A. (2008)**. Durabilidad del Hormigón con Fibras de Acero. España
- Chao (et al 2011)**, S.-H., Cho, j.-S., Karki, N. B., Yasdani, N.: FRC Performance Comparison: Direct Tensile Test, Beam- Type Bending Test, and Round Panel Test. ACI Special publication
- Chen, W (1970)**, Double punch test for tensile strength of concrete, *ACI Materials Journal*, 67(2), 993-995.
- Corcino Albornoz, VC. 2007**, “Estudio comparativo de concreto simple reforzado con fibras de acero Dramix y Wirand, empleando cemento andino tipo V”. Tesis Ing. Civil. Lima, URP.

Coto Roquet L.A. (2007), “Ecuaciones constitutivas para el cálculo de secciones de HRFA”. Tesina de especialidad ETSECCPB-UPC.

EFNARC (1996), European Specification for Sprayed Concrete, European Federation of National Associations of Specialist Contractors and Material Suppliers for the Construction Industry

EHE (2008), Anejo 14, Recomendaciones para la utilización de Hormigones con Fibras.

Fernández Cánovas (2003), M. “Hormigones con fibras: tecnología y propiedades generales”. Hormigón y Acero, nº. 228-229, 2º y 3er trimestre, pp. 167-176.

Guardia, J. y Molins, C (2008), Caracterizacio del comportament a traccio del formigo d'alta treballabilitat reforcat amb fibres d'acer mitjancant l'assaig Barcelona. Càtedra BMB Innovación en tecnología del concreto, Departament d'Enginyeria de la Construccio.

Instituto mexicano del cemento y del concreto ac www.imcyc.com

Laranjeira F. (2010), "Design-oriented constitutive model for steel fiber reinforced concrete", Doctoral Thesis, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, Spain.

Mármol Salazar, P. C. (2010). *Hormigones con fibras de acero: Características mecánicas*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Moreno Almansa, E. y Fernández Cánovas, M (1999). "Behaviour of normal and Steel fibre- reinforced concrete under impact of small projectiles", cement and Concrete research, Vol 29 (11)

NBN B 15-238 (1995), Test on fibre reinforced concrete – bending test on prismatic samples, Norme Belge, Institut Belge de Normalisation, Brussels

NTP 339.034 (2008), Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Pujadas, P. (2013). Caracterización y Diseño del concreto Reforzado con Fibras Plásticas. Doctoral Thesis, Universitat Politecnica de cataluña, Barcelona

Rivva López, E. (2004). Naturaleza y Materiales del Concreto. Lima: II Congreso Internacional de la CONSTRUCCIÓN Y EXPOCON

Rivva López, E. (2010). *Diseño de mezclas*. Lima: ICG.

Saludes, S; Aguado, A, y Molins, C (2007), Ensayo de doble punzonamiento aplicado al hormigón reforzado con fibras (ensayo Barcelona), Càtedra BMB Innovación en Tecnología del Hormigón, 1 ed Barcelona. Departament d'Enginyeria de la Construccio.

UNE-EN 14651:2007+A1 (2008), Ensayo para Concreto con Fibras Metálicas.
Determinación de la Resistencia a la Tracción por Flexión (Límite de Proporcionalidad (LOP), Resistencia Residual). Madrid, España

ANEXO 1

PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

ANEXO 02

SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE CONCRETO, MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

ANEXO 03

RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN AXIAL Y ENSAYO BARCELONA

ANEXO 04

FICHAS TÉCNICAS FIBRAS DE ACERO DRAMIX 3D Y 4D

ANEXO 05

PLANO DE UBICACIÓN DE CANTERA.

ANEXO 06

FIGURAS

ANEXO 07

PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO 01

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO

1. **Peso específico y absorción** (Norma ASTM C 128 o NTP 400.022:2018, ASTM C 127 o NTP 400.021: 2018)

Agregado fino

V = Volumen del recipiente (cm³).

W0 = peso en aire de la muestra seca al horno.

Va = peso en (gr) o volumen en (cm³) del agua añadida al recipiente.

a) Peso específico de masa

$$Pe = \frac{W0}{V-Va} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

b) Peso específico de masa saturado superficialmente seco

$$P.e.s.s.s = \frac{500}{V-Va} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

c) Peso específico aparente

$$P.e.a = \frac{W0}{(V-Va)-(500-W0)} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

d) Porcentaje de absorción

$$Ab = \frac{500-W0}{W0} \times 100 \quad (\text{gr/cm}^3)$$

Resultados obtenidos:

Tabla 36–Peso específico y absorción del agregado fino

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
W0 = Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)	493.5	493.2	493.7	
V= Volumen del frasco (cm3)	500	500	500	
Va= peso en (gr) o Volumen en (cm3) de agua añadida al frasco	312.5	312.2	312.2	
a. Peso específico de masa Pe=W0/(V-Va)	2.632	2.626	2.629	2.629
b. Peso específico de masa saturada con superficie seca 500/(V-Va)	2.667	2.662	2.662	2.664
c. Peso específico Aparente P.e.a= W0/[(V-Va)-(500-W0)]	2.727	2.725	2.720	2.724
d. absorción Ab= [(500-W0)/W0]X100	1.317	1.379	1.276	1.324

Agregado grueso

A = Peso en el aire, de la muestra seca al horno (gr)

B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)

C = Peso en el agua de la muestra saturada (gr)

a) Peso específico de masa

$$P_e = \frac{A}{B-C} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

b) Peso específico de masa saturada superficialmente seco

$$P.e.s.s = \frac{B}{B-C} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

c) Peso específico aparente

$$P.e.a = \frac{A}{A-C} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

d) Porcentaje de absorción

$$Ab = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (\text{gr/cm}^3)$$

Resultados obtenidos

Tabla 37–Peso específico y absorción del agregado grueso

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
A = Peso en el Aire de la muestra secada al horno (gr)	4330	4945	4895	
B= Peso en el Aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)	4376	5000	4945	
C= peso en el Agua de la muestra saturada (gr)	2717	3106	3071	
a. Peso específico de Masa $P_e=A/(B-C)$	2.610	2.611	2.612	2.611
b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P.e.s=B/(B-C)$	2.638	2.640	2.639	2.639
c. Peso específico Aparente $P.e.a= A/(A-C)$	2.684	2.689	2.684	2.686
d. absorción $Ab= [(B-A) /A]X100$	1.062	1.112	1.021	1.065

2. Análisis granulométrico (Norma ASTM C 136 o NTP 400.012: 2018)

Agregado fino

1° ensayo

Peso de la muestra 2104 gr

Tabla 38–Análisis granulométrico del agregado fino, muestra 01.

MALLA		peso retenido (gr)	porcentaje retenido parcial (%)	porcentaje retenido acuml (%)	porcentaje que pasa (%)
N°	(mm)				
4	4.76	175	8.317	8.317	91.683
8	2.36	236	11.217	19.534	80.466
16	1.18	439	20.865	40.399	59.601

30	0.6	482	22.909	63.308	36.692
50	0.3	421	20.010	83.317	16.683
100	0.15	273	12.975	96.293	3.707
cazoleta		78	3.707	100.000	0.000

2° ensayo

Peso de la muestra 2500 gr

Tabla 39–Análisis granulométrico del agregado fino, muestra 02

MALLA		peso retenido (gr)	porcentaje retenido parcial (%)	porcentaje retenido acuml (%)	porcentaje que pasa (%)
N°	(mm)				
4	4.76	304	12.160	12.160	87.840
8	2.36	309	12.360	24.520	75.480
16	1.18	488	19.520	44.040	55.960
30	0.6	459	18.360	62.400	37.600
50	0.3	495	19.800	82.200	17.800
100	0.15	352	14.080	96.280	3.720
cazoleta		93	3.720	100.000	0.000

Curva granulométrica

La curva granulométrica, se dibuja con los porcentajes en las ordenadas y los tamaños de las partículas en las abscisas.

Las ordenadas, se refieren al porcentaje en peso de las partículas menores que el tamaño correspondiente.

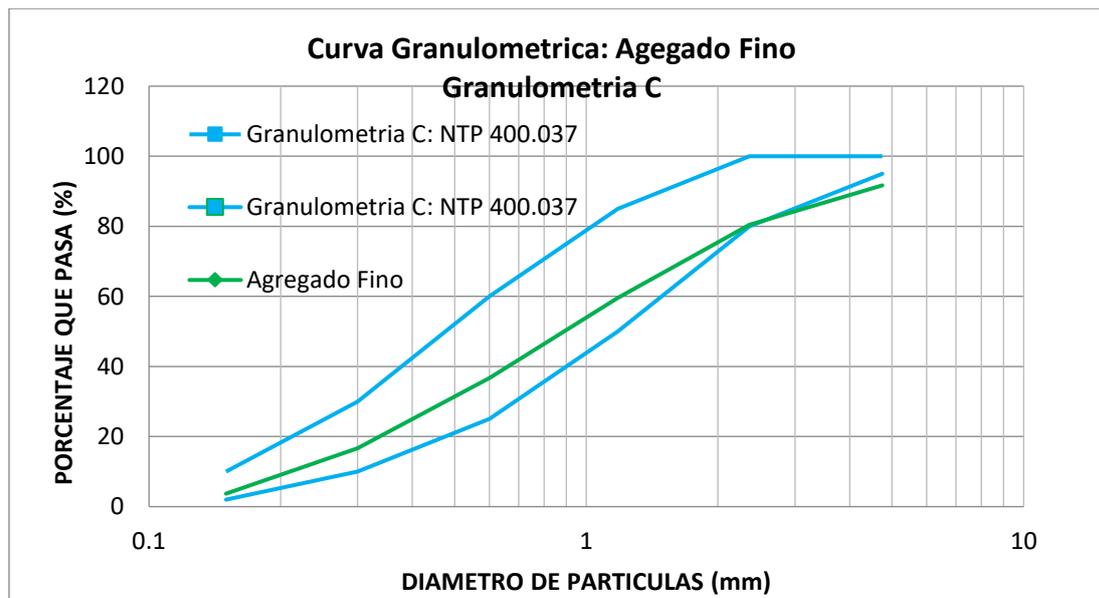


Figura 1–Curva granulométrica del agregado fino, granulometría C

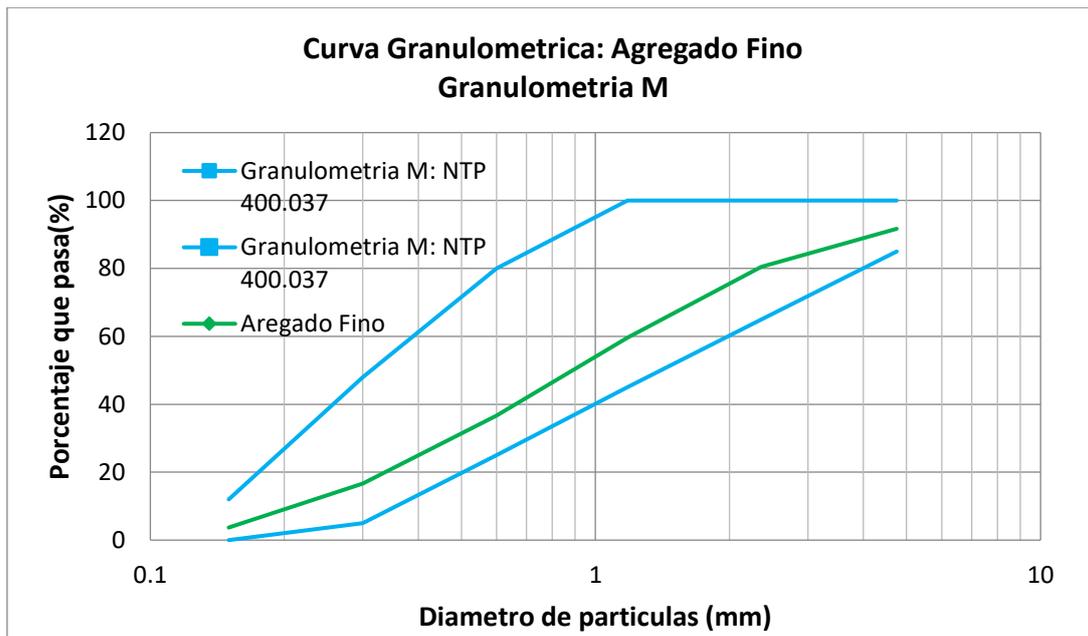


Figura 2–Curva granulométrica del agregado fino, granulometría M

CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

1) Coeficiente de Uniformidad (Cu)

El **coeficiente de uniformidad**, definido por Terzaghi y Peck, se emplea para evaluar la uniformidad del tamaño de partículas del suelo.

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \dots (3.2)$$

Para gravas bien gradadas (GW): $C_u > 4$

Para arenas bien gradadas (SW): $C_u > 6$

2) Coeficiente de Curvatura (Cc)

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad \dots (3.3)$$

Para suelos bien gradados (W): de 1 a 3

D_{60} = diámetro por debajo del cual queda el 60% del suelo, en peso.

D_{10} = diámetro por debajo del cual queda el 10% del suelo, en peso, llamado por HAZEN, Diámetro Efectivo.

D_{30} = se define similar a los anteriores.

Nombre	Suelos, Gruesos, Tamaño
Gravas	Más de la mitad de la fracción de material grueso queda retenida en el tamiz N°4. Tamiz N°4 (4.76 mm.) a 3 pulg. (7.6 cm.)
Arenas	Más de la mitad de la fracción de material grueso pasa el tamiz N°4. Tamiz N°200 (0.074 mm.) a Tamiz N°4 (4.76 mm.)

Para hallar el D_{10} , D_{30} y el D_{60} se hace una interpolación lineal entre los valores inferior y superior más cercanos al porcentaje que pasa deseado y la abertura de sus tamices correspondientes. Una vez obtenidos estos valores (ecuaciones 3.2 y 3.3), se hallan fácilmente los parámetros de la curva de distribución.

Paso 1

Hallar D_{10} , D_{30} , D_{60} mediante interpolación lineal a escala semilogarítmica.

De la ecuación de la recta se tiene.

$$Y_X = Y_0 + \frac{X-X_0}{X_1-X_0}(Y_1 - Y_0) \quad \dots (3.4)$$

X = Abertura de tamiz (escala logarítmica)

Y = % que pasa (escala aritmética)

$X = D_{10}; D_{30}; D_{60}$ $Y = 10\%; 30\%; 60 \%$

$X_1 = D_1$ $Y_1 = \%_1$

$X_2 = D_2$ $Y_2 = \%_2$

$$\frac{D_X - D_1}{D_2 - D_1} = \log \left(\frac{\%_x - \%_1}{\%_2 - \%_1} \right)$$

$$D_X = \frac{D_2 - D_1}{\log \%_2 - \log \%_1} \cdot [\log(\%_x) - \log \%_1] + D_1$$

Cálculo de D_{10}

$$D_{10} = \frac{0.3 - 0.15}{\log(16.683) - \log(3.707)} \cdot [\log(10) - \log(3.707)] + 0.15$$

$D_{10} = 0.24896116 \text{ mm}$

Cálculo de D_{30}

$$D_{30} = \frac{0.6 - 0.3}{\log(36.692) - \log(16.683)} \cdot [\log(30) - \log(16.683)] + 0.3$$

$D_{30} = 0.52335871 \text{ mm}$

Cálculo de D_{60}

$$D_{60} = \frac{2.36 - 1.18}{\log(80.466) - \log(59.601)} \cdot [\log(60) - \log(59.601)] + 1.18$$

$D_{60} = 1.20624552 \text{ mm}$

Paso 2

Determinación de los parámetros de la curva de distribución de partículas

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = C_U = \frac{1.20624552}{0.24896116} = 4.84511521$$

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = C_C = \frac{= 0.52335871^2}{0.24896116 \times 1.20624552} = 0.91207721$$

Debido a que se obtiene un coeficiente de uniformidad $C_u = 4.84511521 < 6$, el Agregado Fino no corresponde a una arena bien gradada (SW).

Se obtiene un coeficiente de curvatura $C_c = 0.91207721$, el cual está fuera del límite 1 a 3, por lo que, el Agregado Fino no corresponde a un suelo bien gradado.

Agregado grueso

1° Ensayo

Peso de la muestra 8000 gr

Tabla 40—Análisis granulométrico del agregado grueso, muestra 01

MALLA		peso retenido (gr)	porcentaje retenido parcial (%)	porcentaje retenido acuml (%)	porcentaje que pasa (%)
N°	(mm)				
3/4"	19	110	1.375	1.375	98.625
1/2"	12.5	1200	15.000	16.375	83.625
3/8"	9.5	3718	46.475	62.850	37.150
N°4	4.75	2812	35.150	98.000	2.000
N°8	2.36	160	2.000	100.000	0.000
cazoleta		0	0.000	100.000	0.000

2° Ensayo

Peso de la muestra 7650 gr

Tabla 41—Análisis granulométrico del agregado grueso, muestra 02

MALLA		peso retenido (gr)	porcentaje retenido parcial (%)	porcentaje retenido acuml (%)	porcentaje que pasa (%)
N°	(mm)				
3/4"	19	124	1.621	1.621	98.379
1/2"	12.5	2165	28.301	29.922	70.078
3/8"	9.5	2120	27.712	58.105	42.366
N°4	4.75	3096	40.471	98.105	1.895
N°8	2.36	145	1.895	100.000	0.000
cazoleta		0	0	0.000	0.000

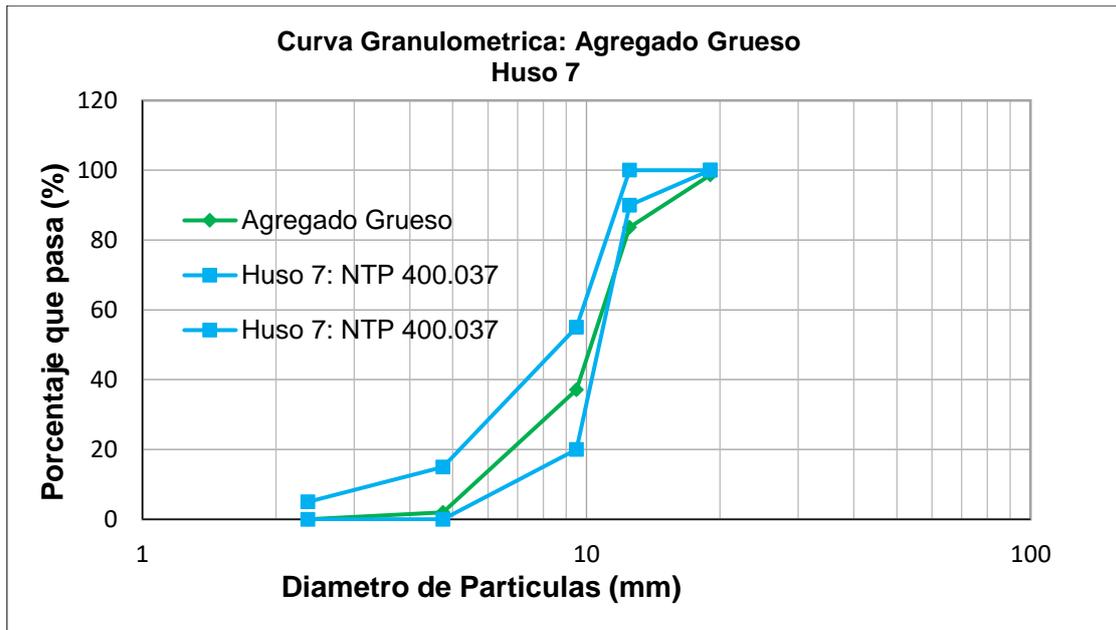


Figura 3–Curva granulométrica del agregado grueso, huso 7

$$D_{10} = 7.36646474, D_{30} = 9.15247978, D_{60} = 11.2724674$$

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = C_U = \frac{11.2724674}{7.36646474} = 1.53024114$$

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad C_C = \frac{9.15247978^2}{7.36646474 \times 11.2724674} = 1.00878695$$

Debido a que se obtiene un coeficiente de uniformidad $C_U = 1.53024114 < 4$, el Agregado Grueso no corresponde a una Grava bien gradada.

Se obtiene un coeficiente de curvatura $C_C = 1.00878695$, el cual está dentro los límites 1 a 3, por lo que, el Agregado Grueso corresponde a un suelo bien gradado.

MÓDULO DE FINURA

$$MF = \frac{\% \text{ Ret Acum } (3''+1 \frac{1}{2}''+3/4''+3/8''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+ N^{\circ}30+N^{\circ}50+ N^{\circ}100)}{100}$$

a) Agregado fino.

$$MF = 3.112$$

b) Agregado grueso.

$$MF = 6.622$$

Tamaño máximo del agregado grueso = 1"

Tamaño máximo nominal del agregado grueso = 3/4"

2. Peso unitario (Norma ASTM C 29 o C 29 M; o NTP 400.017)

$$P.U = W_s.(f)$$

Ws = Peso neto del agregado

f = Factor (f)

P.U = Peso unitario

Agregado fino

Peso unitario suelto

Cálculo del factor (f)

$$f = \frac{1000kg/m^3}{W_a(16.7^\circ c)}$$

Wa = peso del agua que llena el recipiente a 16.7°C = 1922 gr

$$f = 520.291 \text{ 1/m}^3$$

Tabla 42–Peso unitario suelto del agregado fino.

Ensayo N°	1	2	3
Peso del recipiente (g)	2935	2935	2935
Peo del recipiente + material (g)	6126	6140	6140
Peso del material (g)	3191	3205	3205
Factor (f)	520.291	520.291	520.291
Peso Unitario suelto (kg/m ³)	1660.250	1667.534	1667.534
Peso Unitario suelto Promedio (kg/m ³)	1665.106		

Peso unitario compactado

Tabla 43–Peso unitario compactado del agregado fino.

Ensayo N°	1	2	3
Peso del recipiente (g)	2935	2935	2935
Peo del recipiente + material (g)	6309	6307	6310
Peso del material (g)	3374	3372	3375
Factor (f)	520.291	520.291	520.291
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1755.463	1754.422	1755.983
Peso Unitario Comp Promedio (kg/m ³)	1755.290		

Agregado grueso

Peso unitario suelto

Cálculo del factor (f)

Wa = peso del agua para llenar el recipiente a 16.7°C = 9721 gr

$$f = 102.870 \text{ 1/m}^3$$

Tabla 44–Peso unitario suelto del agregado grueso.

Ensayo N°	1	2	3
Peso del recipiente (g)	4195	4195	4195
Peo del recipiente + material (g)	18395	18636	18464
Peso del material (g)	14200	14441	14269
Factor (f)	102.870	102.870	102.870
Peso Unitario suelto (kg/m ³)	1460.755	1485.547	1467.853
Peso Unitario suelto Promedio (kg/m ³)	1471.385		

Peso unitario compactado

Tabla 45–Peso unitario compactado del agregado grueso.

Ensayo N°	1	2	3
Peso del recipiente (g)	4195	4195	4195
Peo del recipiente + material (g)	19275	19481	19427
Peso del material (g)	15080	15286	15232
Factor (f)	102.870	102.870	102.870
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1551.281	1572.472	1566.917
Peso Unitario Compactado Promedio (kg/m ³)	1563.557		

3. Contenido de Humedad (NTP 339.185:2018)

a) Agregado fino

Tabla 46–Contenido de humedad del agregado fino.

ENSAYO N°	1	2	3
Peso del recipiente (gr)	40	56	74
Peso de (M Hum +recipiente) (gr)	524	526	527
Peso de (M Seca +recipiente) (gr)	507	509	510
Peso del agua (gr)	17	17	17
Peso de la muestra seca (gr)	467	453	436
Contenido de humedad (%)	3.640	3.753	3.899
Promedio del contenido de humedad	3.8		

b) Agregado grueso

Tabla 47–Contenido de humedad del agregado grueso.

ENSAYO N°	1	2	3
Peso del recipiente (gr)	776	128	98
Peso de (M Hum +recipiente) (gr)	2132	1715	1778
Peso de (M Seca +recipiente) (gr)	2128	1711	1773
Peso del agua (gr)	4	4	5
Peso de la muestra seca (gr)	1352	1583	1675
Contenido de humedad (%)	0.296	0.253	0.299
Promedio del contenido de humedad	0.28		

ANEXO 02

SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE CONCRETO, MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

1. ESPECIFICACIONES:

Mezcla de consistencia plástica asentamiento de 3" a 4"

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

2. MATERIALES:

Cemento portland Tipo I Pacasmayo 42.5 kg (ACTM C 150 o NTP 334.039)

Peso específico = 3.14 g/cm³

Agua: potable (Norma NTP 339.088 o ASTC 1602)

AGREGADO FINO

Tabla 48–Propiedades físicas del agregado fino.

Peso unitario suelto =	1665.106 kg/m ³
Peso unitario compactado =	1755.290 kg/m ³
Peso específico de masa =	2629.020 kg/m ³
Contenido de humedad =	3.8 %
Absorción =	1.324 %
Módulo de fineza =	3.112

AGREGADO GRUESO

Tabla 49–Propiedades físicas del agregado grueso.

Perfil:	Angular
Tamaño máximo nominal =	3/4"
Peso unitario suelto =	1471.385 kg/m ³
Peso unitario compactado =	1563.557 kg/m ³
Peso específico de masa =	2610.981 kg/m ³
Contenido de humedad =	0.28 %
Absorción =	1.065 %
Módulo de fineza =	6.622

3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

$f'c$	$f'cr$
< 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
> 350	$f'c + 98$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

Con el fin de obtener una resistencia mínima de 210 kg/cm² en los resultados, se utilizará menor cantidad de cemento a la que indican las tablas ACI (-29%) seleccionando para ello $f'_{cr} = 155 \text{ kg/cm}^2$, con el objetivo de observar la influencia de la esbeltez de las fibras de acero en un concreto con resistencia mínima.

$$f'_{cr} = 155 \text{ kg/cm}^2$$

4. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO GRUESO

$$\text{TMN} = 3/4''$$

5. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

$$\text{Asentamiento} = 3'' \text{ a } 4''$$

6. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

TMN =	3/4''
ASENTAMIENTO =	3'' a 4''
CONTENIDO DE AGUA=	205 lt

7. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

TMN=	3/4''
AIRE ATRAPADO % =	2

8. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO POR RESISTENCIA

$f'_{cr} =$	155	kg/cm ²
-------------	-----	--------------------

$$Y_x = Y_0 + \frac{X - X_0}{X_1 - X_0} (Y_1 - Y_0)$$

	f'_{cr}	A/C
Límite inferior =	250	0.62
f'_{cr} inicial =	294	0.558
Límite superior =	300	0.55

	f'_{cr}	A/C
Límite inferior =	150	0.8
f'_{cr} reducido =	155	0.79
Límite superior =	200	0.7

9. FACTOR CEMENTO

$$\text{Factor cemento inicial} = 367.00 \text{ kg/m}^3 = 8.6 \text{ bl/m}^3$$

$$\text{Factor cemento reducido} = 260.00 \text{ kg/m}^3 = 6.12 \text{ bl/m}^3$$

$$\text{Factor de reducción} = 107 \text{ kg/m}^3 = 29\%$$

10. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

TMN =	3/4"
mf. AF =	3.112
b/b0	0.5888

Peso del agregado gruesos seco = 920.6221 kg/m³

11. CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS

Cemento =	0.083	m ³
Agua =	0.205	m ³
Aire =	0.020	m ³
Agregado grueso =	<u>0.3526</u>	m ³
Suma de volúmenes conocidos =	0.660	m ³

12. CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Volumen de Agregado Fino = 0.340 m³

Peso del Agregado Fino seco = 892.818 kg/m³

13. VALORES DE DISEÑO

Tabla 50–Valores de diseño

Cemento =	260.000	kg/m ³
Agua de diseño =	205	l/m ³
Agregado Fino Seco =	892.818	kg/m ³
Agregado Grueso Seco =	920.6221	kg/m ³

14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Peso húmedo de Agregado Fino = 926.424 kg/m³

Peso húmedo de Agregado Grueso = 923.221 kg/m³

Determinación de la humedad superficial del Agregado

Humedad superficial del Agregado Fino = 2.4400 %
Humedad superficial del Agregado Grueso = -0.783 %

Aporte de humedad del Agregado Fino = 21.7852 lt
Aporte de humedad del Agregado Grueso = - 7.2084 lt
Aporte de humedad del Agregado = 14.5768 lt
Agua efectiva = 190.423 lt/m³

El peso de los materiales de la unidad cubica de concreto, corregidos por humedad del agregado a emplear en la mezcla de prueba son:

Tabla 51–Peso de los materiales corregidos por humedad, mezcla de prueba.

Cemento =	260.000	kg/m ³
Agua efectiva =	190.423	l/m ³
Agregado Fino húmedo =	926.424	kg/m ³
Agregado Grueso húmedo =	923.221	kg/m ³

15. PROPORCIÓN EN PESO

Tabla 52–Proporción en peso de los materiales sin corregir por humedad del agregado

C	AF	AG	lt/bl
1	3.434	3.5409	33.497

Tabla 53–Proporción en peso de los materiales corregidos por humedad del agregado.

C	AF	AG	lt/bl
1	3.563	3.551	31.115

16. PESOS POR TANDA DE UNA BOLSA

Relación A/C de diseño = 0.7885

Relación A/C efectiva = 0.7324

La cantidad de material por tanda de una bolsa de cemento de 42.5 kg son:

Tabla 54–Cantidad de materiales por tanda de una bolsa de cemento.

Cemento =	42.500	kg/m ³
Agua efectiva =	31.115	l/m ³
Agregado Fino húmedo =	151.435	kg/m ³
Agregado Grueso húmedo =	150.911	kg/m ³

La cantidad de material para un volumen de 0.02 m³ (3 probetas estándar)

Tabla 55–Cantidad de materiales para tanda de 0.02m³

TANDA	0.02	m ³
Cemento =	5.200	kg
Agua efectiva =	3.808	lt
Agregado Fino húmedo =	18.528	kg
Agregado Grueso húmedo =	18.464	kg

AJUSTE DE LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE PRUEBA

1. ESPECIFICACIONES

Se deben realizar los ajustes necesarios para obtener una mezcla con mayor demanda de agregado fino, debido a la adición de fibras de acero.

2. TANDA DE ENSAYO

Al realizar la tanda de prueba en laboratorio se observó los siguientes datos:

Volumen preparado =	0.02 m ³
Asentamiento =	10 cm
Peso unitario medido =	2337.07 kg/m ³
Agua adicional =	-196.67 cm ³
Mezcla:	sobre gravosa

4. PESOS DE LA TANDA DE ENSAYO

La tanda de ensayo con el agua corregida será:

Cemento =	5.200 kg
Agua añadida =	3.612 lt
Agregado Fino húmedo =	18.528kg
Agregado Grueso húmedo =	<u>18.464 kg</u>
Peso de la tanda =	45.805 kg

5. RENDIMIENTO DE LA TANDA DE ENSAYO

Rendimiento = 0.019599 m³

6. AGUA DE MEZCLADO POR TANDA

Aporte del agregado:

Fino húmedo =	0.4357 lt
Grueso húmedo =	-0.1442 lt
Agua añadida =	<u>3.6118 lt</u>
Agua de mezcla por tanda =	3.9033 lt

7. AGUA DE MEZCLADO REQUERIDA

El volumen de agua de mezcla requerido por unidad cúbica de concreto, para el mismo asentamiento de la tanda de prueba será:

Agua de mezclado = 199.158 lt

8. NUEVA RELACIÓN AGUA CEMENTO

Relación agua/cemento de diseño = 0.7660

9. CORRECCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO

b/b0 de diseño = 0.5888

b/b0 corregido = 0.5299

Agregado Grueso seco = 828.560 kg/m³

Agregado Grueso húmedo = 830.899 kg/m³

Agregado grueso saturado superficialmente seco = 837.387 kg/m³

10. CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Agregado fino saturado superficialmente seco = 1040.525 kg/m³

Agregado fino seco = 1026.9291 kg/m³

11. NUEVOS PESOS SECOS DE LA TANDA

Cemento = 260.000 kg/m³

Agua de diseño = 199.158 kg/m³

Agregado fino seco = 1026.929 kg/m³

Agregado grueso seco = 828.56 kg/m³

12. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Peso húmedo del Agregado Fino = 1065.5830 kg/m³

Peso húmedo del Agregado Grueso = 830.8993 kg/m³

Determinación de la humedad superficial del Agregado

Humedad superficial del agregado Fino = 2.4400 %

Humedad superficial del Agregado Grueso = -0.783 %

Aporte de humedad del agregado Fino = 25.0576 lt

Aporte de humedad del Agregado Grueso = -6.4876 lt

Aporte de humedad del agregado = 18.5700 lt

Agua efectiva = 180.588 lt/m³

Peso de los materiales de la unidad cubica de concreto, corregidos por humedad del Agregado a emplear en la mezcla patrón son:

Tabla 56–Materiales corregidos por humedad del agregado, mezcla patrón

Cemento =	260.000	kg/m ³
Agua efectiva =	180.588	l/m ³
Agregado Fino húmedo =	1065.583	kg/m ³
Agregado Grueso húmedo =	830.899	kg/m ³

13. PROPORCIÓN EN PESO DE LA MEZCLA

La proporción en peso de los materiales sin corregir y corregidos por humedad del Agregado serán:

Tabla 57–Proporción en peso de los materiales sin corregir por humedad

C	AF	AG	lt/bl
1	3.950	3.1868	32.542

Tabla 58–Proporción en peso de los materiales corregidos por humedad

C	AF	AG	Lt/bl
1	4.098	3.196	29.508

14. PESOS POR TANDA DE UNA BOLSA

Relación A/C de diseño = 0.766

Relación A/C efectiva = 0.695

Tabla 59–Materiales para tanda de una bolsa 42.5 kg, mezcla patrón

Cemento =	42.500	kg/m ³
Agua efectiva =	29.508	l/m ³
Agregado Fino húmedo =	174.182	kg/m ³
Agregado Grueso húmedo =	135.820	kg/m ³

Tabla 60–Materiales para una tanda de 0.02 m³, mezcla patrón

TANDA	0.02	m ³
Cemento =	5.200	kg
Agua efectiva =	3.612	lt
Agregado Fino húmedo =	21.312	kg
Agregado Grueso húmedo =	16.618	Kg

DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO CON FIBRAS DE ACERO:

A una tanda de 0.04 m³ (6 probetas estándar) de mezcla patrón se añadió una cantidad de fibra en kg/m³ según la dosificación establecida para cada tipo de fibra tal como se muestra en la tabla 1 (resumen de serie de mezclas de diseño según dosificación y tipo de fibra).

ANEXO 03

RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN AXIAL Y ENSAYO BARCELONA

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

Tipo de fibra 3D 65/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 16/11/2018

Fecha de ensayo: 14/12/2018

Tabla 61–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D65/60BG, dosificación 15 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.56	20	0.66	20	0.43
40	1.09	40	0.98	40	1.02
60	1.24	60	1.09	60	1.43
80	1.39	80	1.19	80	1.73
100	1.53	100	1.28	100	1.97
120	1.64	120	1.35	120	2.17
140	1.75	140	1.42	140	2.32
160	1.85	160	1.5	160	2.45
180	1.95	180	1.56	180	2.57
200	2.04	200	1.62	200	2.67
220	2.13	220	1.69	220	2.77
240	2.22	240	1.75	240	2.85
260	2.31	260	1.81	260	2.93
280	2.38	280	1.88	280	3.01
300	2.46	300	1.95	300	3.08
320	2.56	320	2.02	320	3.15
340	2.65	340	2.11	340	3.21
360	2.77	360	2.47	360	3.28
380	3.23	380	3.19	380	3.35
400	3.39	400	3.36	400	3.41
420	3.51	420	3.89	420	3.47
436.59	3.91	435.42	3.98	426.78	3.54

Tabla 62–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D65/60BG, dosificación 20 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.47	20	0.57	20	0.4
40	0.89	40	0.99	40	0.98
60	1.05	60	1.09	60	1.09
80	1.17	80	1.19	80	1.21
100	1.26	100	1.28	100	1.25
120	1.31	120	1.36	120	1.36
140	1.41	140	1.44	140	1.43
160	1.51	160	1.52	160	1.49

180	1.54	180	1.59	180	1.56
200	1.61	200	1.66	200	1.66
220	1.69	220	1.73	220	1.69
240	1.79	240	1.8	240	1.8
260	1.84	260	1.89	260	1.87
280	1.94	280	1.96	280	1.96
300	2.03	300	2.06	300	2.07
320	2.13	320	2.15	320	2.15
340	2.25	340	2.27	340	2.21
360	2.31	360	2.32	360	2.32
380	2.39	380	2.40	380	2.40
400	2.47	400	2.48	400	2.46
420	2.55	420	2.56	420	2.56
440	2.61	440	2.64	440	2.64
460	2.70	460	2.72	460	2.72
463.07	3.02	471.7	2.97	462.093	2.99

Tabla 63–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D65/60BG, dosificación 25 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.52	20	0.53	20	0.65
40	1.07	40	1.01	40	1.16
60	1.48	60	1.31	60	1.4
80	1.78	80	1.44	80	1.59
100	1.94	100	1.57	100	1.7
120	2.12	120	1.72	120	1.82
140	2.21	140	1.84	140	1.94
160	2.33	160	1.91	160	2.03
180	2.43	180	2.00	180	2.11
200	2.51	200	2.07	200	2.19
220	2.62	220	2.14	220	2.26
240	2.7	240	2.21	240	2.31
260	2.75	260	2.31	260	2.39
280	2.83	280	2.34	280	2.46
300	2.92	300	2.44	300	2.52
320	2.97	320	2.41	320	2.57
340	3.04	340	2.53	340	2.64
360	3.12	360	2.59	360	2.72
380	3.17	380	2.67	380	2.78
400	3.26	400	2.73	400	2.83
420	3.34	420	2.82	420	2.92
440	3.41	440	2.87	440	3.00
460	3.72	460	2.97	460	3.1
480	3.94	480	3.16	480	3.22
489.1	3.99	500	3.18	500	3.37
		507.9	3.25	507.9	3.48

Tipo de fibra 3D 80/60BG

f'c = 210 kg/cm²

Fecha de elaboración: 17/10/2018

Fecha de ensayo: 14/11/2018

Tabla 64–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D80/60BG, dosificación 10 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.00	20	0.50	20	0.55
40	0.41	40	1.02	40	1.03
60	0.86	60	1.46	60	1.36
80	1.24	80	1.76	80	1.57
100	1.52	100	1.98	100	1.69
120	1.75	120	2.15	120	1.78
140	1.93	140	2.28	140	1.89
160	2.1	160	2.4	160	1.99
180	2.24	180	2.51	180	2.09
200	2.36	200	2.6	200	2.17
220	2.48	220	2.69	220	2.25
240	2.57	240	2.77	240	2.32
260	2.67	260	2.86	260	2.39
280	2.77	280	2.93	280	2.46
300	2.86	300	3.01	300	2.52
320	2.95	320	3.08	320	2.59
340	3.04	340	3.16	340	2.66
360	3.13	360	3.23	360	2.74
380	3.23	380	3.31	380	2.8
400	3.34	400	3.4	400	2.88
420	3.52	419.73	3.44	420	2.96
422.45	3.54			425.63	3.02

Tabla 65–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D80/60BG, dosificación 15 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.3	20	0.53	20	0.34
40	0.79	40	1.05	40	0.96
60	1.2	60	1.42	60	1.3
80	1.53	80	1.67	80	1.59
100	1.78	100	1.87	100	1.83
120	1.97	120	2.02	120	2.04
140	2.14	140	2.14	140	2.22
160	2.3	160	2.26	160	2.35
180	2.41	180	2.36	180	2.49
200	2.52	200	2.46	200	2.61
220	2.63	220	2.55	220	2.73
240	2.73	240	2.63	240	2.83
260	2.81	260	2.71	260	2.93
280	2.91	280	2.79	280	3.03
300	2.99	300	2.86	300	3.12
320	3.08	320	2.95	320	3.21
340	3.16	340	3.02	340	3.3
360	3.25	360	3.10	360	3.39
380	3.34	380	3.19	380	3.49
400	3.44	400	3.29	400	3.6

420	3.6	419.44	3.38	420	3.76
420.45	3.8			425.11	4

Tabla 66–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D80/60BG, dosificación 20 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.56	20	0.63	20	0.56
40	1.11	40	1.12	40	1.10
60	1.49	60	1.45	60	1.49
80	1.78	80	1.67	80	1.77
100	1.94	100	1.84	100	1.98
120	2.12	120	1.98	120	2.14
140	2.24	140	2.1	140	2.28
160	2.34	160	2.2	160	2.38
180	2.45	180	2.29	180	2.49
200	2.55	200	2.37	200	2.58
220	2.64	220	2.44	220	2.67
240	2.72	240	2.52	240	2.75
260	2.80	260	2.59	260	2.82
280	2.88	280	2.66	280	2.89
300	2.96	300	2.73	300	2.96
320	3.04	320	2.79	320	3.02
340	3.12	340	2.85	340	3.09
360	3.19	360	2.92	360	3.16
380	3.27	380	2.99	380	3.22
400	3.35	400	3.06	400	3.29
420	3.43	420	3.13	420	3.37
440	3.54	440	3.22	440	3.45
460	3.71	460	3.32	460	3.59
464.72	3.86	474.55	3.49	466.06	3.65

Tipo de fibra 4D 55/60BG

f'c = 210 kg/cm²

Fecha de elaboración: 18/10/2018

Fecha de ensayo: 15/11/2018

Tabla 67–Resistencia a compresión axial del CRFA 4D55/60BG, dosificación 20 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.69	20	0.67	20	0.69
40	1.28	40	1.26	40	1.33
60	1.74	60	1.76	60	1.85
80	2.05	80	2.12	80	2.25
100	2.29	100	2.44	100	2.54
120	2.5	120	2.68	120	2.81
140	2.64	140	2.91	140	3.04
160	2.79	160	3.09	160	3.22
180	2.92	180	3.26	180	3.4
200	3.03	200	3.40	200	3.54

220	3.15	220	3.54	220	3.67
240	3.24	240	3.66	240	3.8
260	3.34	260	3.78	260	3.91
280	3.43	280	3.88	280	4.02
300	3.51	300	3.99	300	4.12
320	3.6	320	4.09	320	4.22
340	3.69	340	4.19	340	4.32
360	3.77	360	4.28	360	4.41
380	3.86	380	4.38	380	4.52
400	3.96	400	4.49	400	4.62
420	4.06	420	4.65	420	4.73
433.13	4.21	430.37	4.68	434.94	5.00

Tabla 68–Resistencia a compresión axial del CRFA 4D55/60BG, dosificación 25 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.46	20	0.66	20	0.53
40	1.02	40	1.27	40	0.96
60	1.43	60	1.70	60	1.19
80	1.73	80	2.01	80	1.37
100	1.97	100	2.24	100	1.53
120	2.17	120	2.41	120	1.65
140	2.32	140	2.56	140	1.76
160	2.45	160	2.69	160	1.86
180	2.57	180	2.78	180	1.96
200	2.67	200	2.84	200	2.04
220	2.77	220	2.92	220	2.12
240	2.85	240	2.99	240	2.19
260	2.93	260	3.06	260	2.26
280	3.01	280	3.14	280	2.33
300	3.08	300	3.21	300	2.4
320	3.15	320	3.28	320	2.47
340	3.21	340	3.36	340	2.53
360	3.28	360	3.43	360	2.6
380	3.35	380	3.51	380	2.67
400	3.41	400	3.59	400	2.74
420	3.47	420	3.66	420	2.81
440	3.54	440	3.75	440	2.89
460	3.61	460	3.83	460	2.97
480	3.69	480	3.94	480	3.07
500	3.79	500	4.07	500	3.18
511.86	3.93	503.3	4.21	520	3.38
				524.66	3.54

Tabla 69–Resistencia a compresión axial del CRFA 4D55/60BG, dosificación 30 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.51	20	0.55	20	0.67
40	1.08	40	1.02	40	1.16
60	1.49	60	1.3	60	1.44

80	1.78	80	1.46	80	1.59
100	1.96	100	1.59	100	1.7
120	2.12	120	1.71	120	1.82
140	2.24	140	1.83	140	1.94
160	2.35	160	1.92	160	2.03
180	2.44	180	2.01	180	2.11
200	2.53	200	2.09	200	2.19
220	2.61	220	2.16	220	2.26
240	2.7	240	2.23	240	2.33
260	2.76	260	2.3	260	2.39
280	2.84	280	2.36	280	2.46
300	2.91	300	2.43	300	2.52
320	2.98	320	2.49	320	2.59
340	3.04	340	2.55	340	2.64
360	3.11	360	2.61	360	2.72
380	3.18	380	2.68	380	2.78
400	3.25	400	2.74	400	2.85
420	3.33	420	2.81	420	2.92
440	3.4	440	2.89	440	3.00
460	3.7	460	2.98	460	3.1
475.06	3.82	480	3.16	471.72	3.22
		480.08	3.18		

Tipo de fibra 3D 45/35BL

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 20/10/2018

Fecha de ensayo: 17/11/2018

Tabla 70–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D45/35BL, dosificación 30 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.57	20	0.59	20	0.51
40	1.05	40	1.07	40	1.12
60	1.5	60	1.49	60	1.5
80	1.67	80	1.76	80	1.79
100	1.87	100	1.99	100	2.05
120	2.04	120	2.21	120	2.25
140	2.17	140	2.47	140	2.37
160	2.32	160	2.51	160	2.55
180	2.43	180	2.61	180	2.66
200	2.53	200	2.71	200	2.72
220	2.65	220	2.81	220	2.86
240	2.75	240	2.9	240	2.96
260	2.85	260	3.03	260	3.09
280	2.98	280	3.15	280	3.18
295.16	3.18	296.02	3.37	295.82	3.25

Tabla 71–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D45/35BL, dosificación 35 kg/m³

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
------------	------------	------------

Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.56	20	0.57	20	0.45
40	1.04	40	1.06	40	0.94
60	1.4	60	1.46	60	1.34
80	1.66	80	1.75	80	1.63
100	1.86	100	1.98	100	1.84
120	2.02	120	2.16	120	2.03
140	2.15	140	2.31	140	2.18
160	2.29	160	2.45	160	2.32
180	2.4	180	2.57	180	2.43
200	2.51	200	2.69	200	2.54
220	2.63	220	2.79	220	2.64
240	2.73	240	2.90	240	2.75
260	2.85	260	3.01	260	2.85
280	2.96	280	3.13	280	2.96
300	3.15	300	3.35	300	3.12
305.62	3.24	306	3.41	304.26	3.55

Tabla 72–Resistencia a compresión axial del CRFA 3D45/35BL, dosificación 40 kg/m³

Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)	Carga (KN)	Deformación (mm)
20	0.54	20	0.75	20	0.56
40	1.07	40	1.37	40	1.10
60	1.5	60	1.82	60	1.52
80	1.82	80	2.18	80	1.82
100	2.08	100	2.45	100	2.05
120	2.29	120	2.66	120	2.24
140	2.47	140	2.84	140	2.39
160	2.63	160	3.01	160	2.53
180	2.77	180	3.15	180	2.65
200	2.91	200	3.27	200	2.75
220	3.03	220	3.39	220	2.87
240	3.14	240	3.5	240	2.96
260	3.26	260	3.6	260	3.06
280	3.37	280	3.71	280	3.17
300	3.48	300	3.82	300	3.27
320	3.61	320	3.94	320	3.38
340	3.83	340	4.08	340	3.55
345.73	3.89	346.7	4.33	343.07	3.92

ENSAYO BARCELONA DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

RESISTENCIA RESIDUAL DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

Tipo de fibra 3D 65/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 16/11/2018

Fecha de ensayo: 14/12/2018

Tabla 73–Resistencia residual del CRFA 3D65/60BG, dosificación 15 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deformación (mm)										
4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00
9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00
14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00
19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00
24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00
29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00
34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00
39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00
44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00
49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00
53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00
58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00
63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00
68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00
73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00
78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00
83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.01
88.26	0.00	88.26	0.01	88.26	0.00	88.26	0.01	88.26	0.00	88.26	0.03
93.16	0.01	93.16	0.03	93.16	0.00	93.16	0.03	93.16	0.03	93.16	0.05
98.07	0.02	98.07	0.06	98.07	0.01	98.07	0.05	98.07	0.05	94.53	0.06
102.97	0.03	102.97	0.07	102.97	0.03	102.97	0.07	102.97	0.07	55.10	0.42
107.87	0.04	107.87	0.09	107.87	0.05	107.87	0.10	106.30	0.15	51.52	0.50
59.10	0.30	108.07	0.10	111.80	0.07	59.12	0.35	56.40	0.5	45.75	0.75
50.34	0.50	59.30	0.45	59.20	0.55	51.50	0.50	52.60	0.60	40.30	1.00
45.35	0.75	55.20	0.55	56.75	0.6	45.30	0.75	48.00	0.75	35.60	1.25
40.10	1.00	48.78	0.75	52.00	0.75	41.00	1.00	41.60	1.00	32.20	1.50
35.89	1.25	44.37	1.00	47.00	1.00	37.30	1.25	37.50	1.25	29.60	1.75
33.80	1.50	40.24	1.25	41.75	1.25	35.80	1.50	34.30	1.50	27.03	2.00
31.50	1.75	37.00	1.50	38.50	1.50	33.70	1.75	31.36	1.75	25.25	2.25
29.00	2.00	34.60	1.75	35.50	1.75	31.20	2.00	29.42	2.00	23.43	2.50
27.50	2.25	31.50	2.00	32.50	2.00	29.40	2.25	27.13	2.25	22.22	2.75
26.41	2.50	29.41	2.25	30.15	2.25	27.50	2.50	25.30	2.50	21.00	3.00
25.15	2.75	27.80	2.50	28.50	2.50	26.00	2.75	24.14	2.75	19.97	3.25
23.90	3.00	26.00	2.75	26.80	2.75	24.50	3.00	23.25	3.00	18.86	3.50
22.38	3.25	25.00	3.00	25.61	3.00	23.50	3.25	22.10	3.25	18.12	3.75
21.63	3.50	23.90	3.25	24.51	3.25	22.50	3.50	20.95	3.50	17.56	4.00
20.60	3.75	22.75	3.50	23.41	3.50	21.85	3.75	20.30	3.75	16.95	4.25
20.10	4.00	21.85	3.75	22.40	3.75	21.30	4.00	19.67	4.00	16.60	4.50
19.39	4.25	21.11	4.00	21.61	4.00	20.45	4.25	19.14	4.25	16.10	4.75
18.97	4.50	20.42	4.25	20.83	4.25	19.70	4.50	18.50	4.50	15.70	5.00
18.3	4.75	19.87	4.50	20.35	4.50	18.91	4.75	18.00	4.75	15.23	5.25
17.8	5.00	19.12	4.75	19.72	4.75	18.44	5.00	17.47	5.00	14.90	5.50
17.5	5.25	18.90	5.00	19.33	5.00	17.92	5.25	17.13	5.25	14.70	5.75

17.1	5.50	18.20	5.25	18.91	5.25	17.59	5.50	16.85	5.50	14.45	6.00
16.9	5.75	17.87	5.50	18.51	5.50	17.13	5.75	16.50	5.75		
16.7	6.00	17.52	5.75	18.20	5.75	16.91	6.00	16.33	6.00		
		17.21	6.00	17.85	6.00						

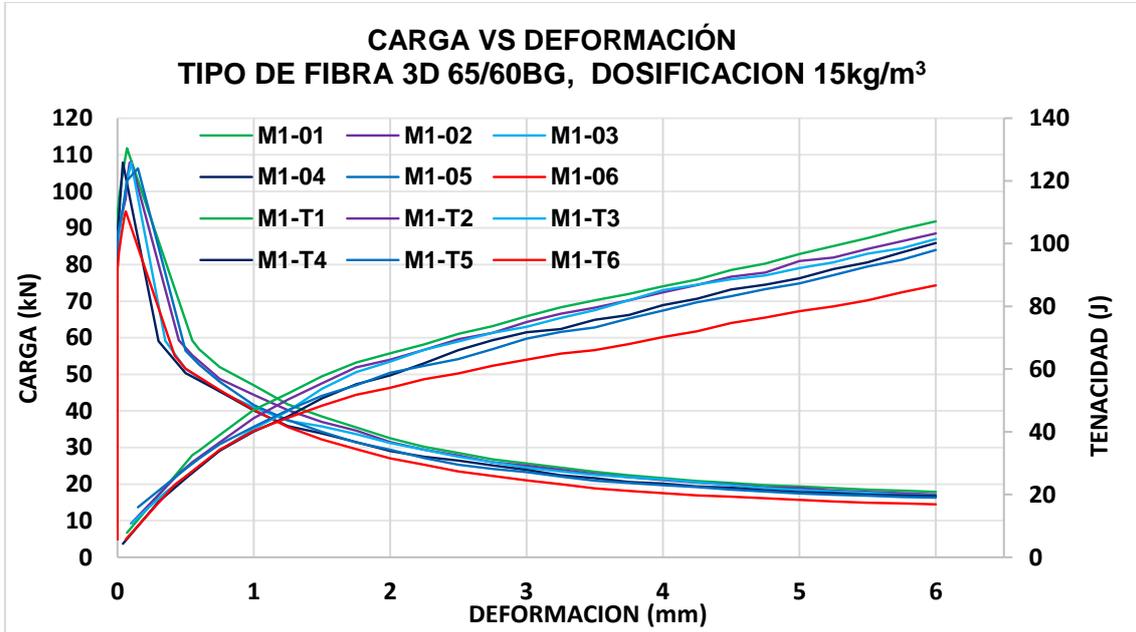


Figura 4–Carga vs deformación del CRFA 3D65/60BG, dosificación 15 kg/m³

Tabla 74–Resistencia residual del CRFA 3D65/60BG, dosificación 20 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deformación (mm)										
4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00
9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00
14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00
19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00
24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00
29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00
34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00
39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00
44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00
49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00
53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00
58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00
63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00
68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00
73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00
78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00
83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00

88.26	0.01	88.26	0.00	88.26	0.00	88.26	0.01	88.26	0.01	88.26	0.00
93.16	0.02	93.16	0.01	93.16	0.01	93.16	0.03	93.16	0.03	93.16	0.01
98.07	0.04	98.07	0.03	98.07	0.03	98.07	0.05	94.15	0.06	98.07	0.03
102.97	0.05	102.97	0.05	101.99	0.05	102.97	0.07	55.00	0.31	102.97	0.04
111.80	0.07	107.87	0.06	56.30	0.35	107.87	0.08	46.60	0.50	107.87	0.06
60.31	0.30	112.78	0.08	50.50	0.50	59.13	0.30	41.20	0.75	112.78	0.08
50.34	0.50	61.00	0.35	43.50	0.75	49.00	0.50	37.28	1.00	115.72	0.09
45.00	0.75	52.00	0.50	39.50	1.00	42.00	0.75	34.52	1.25	61.82	0.40
39.82	1.00	46.20	0.75	36.05	1.25	38.00	1.00	31.11	1.50	54.50	0.55
36.62	1.25	42.10	1.00	32.90	1.50	35.00	1.25	29.32	1.75	48.10	0.75
34.70	1.50	39.20	1.25	30.91	1.75	32.40	1.50	27.83	2.00	44.80	1.00
32.00	1.75	36.20	1.50	29.35	2.00	30.20	1.75	26.06	2.25	40.60	1.25
30.51	2.00	34.19	1.75	27.50	2.25	28.90	2.00	24.50	2.50	38.20	1.50
28.40	2.25	32.10	2.00	25.80	2.50	27.60	2.25	23.32	2.75	36.00	1.75
27.30	2.50	30.10	2.25	24.31	2.75	26.20	2.50	22.40	3.00	33.90	2.00
26.20	2.75	28.50	2.50	23.43	3.00	24.90	2.75	21.36	3.25	32.35	2.25
25.40	3.00	27.60	2.75	22.30	3.25	23.90	3.00	20.40	3.50	31.25	2.50
24.40	3.25	26.30	3.00	21.52	3.50	22.75	3.25	19.80	3.75	30.00	2.75
23.72	3.50	25.40	3.25	20.78	3.75	22.10	3.50	19.21	4.00	29.20	3.00
22.96	3.75	24.70	3.50	20.10	4.00	21.30	3.75	18.51	4.25	28.00	3.25
22.05	4.00	24.00	3.75	19.43	4.25	20.90	4.00	18.11	4.50	27.00	3.50
21.50	4.25	23.20	4.00	18.95	4.50	20.30	4.25	17.74	4.75	26.00	3.75
20.72	4.50	22.60	4.25	18.51	4.75	19.54	4.50	17.31	5.00	25.50	4.00
20.80	4.75	21.94	4.50	18.04	5.00	19.20	4.75	16.95	5.25	24.75	4.25
20.00	5.00	21.43	4.75	17.60	5.25	18.62	5.00	16.57	5.50	24.00	4.50
19.65	5.25	21.28	5.00	17.20	5.50	18.61	5.25	16.23	5.75	23.40	4.75
19.62	5.50	20.71	5.25	16.86	5.75	18.29	5.50	15.85	6.00	22.80	5.00
19.25	5.75	20.31	5.50	16.64	6.00	18.14	5.75			22.20	5.25
19.04	6.00	19.98	5.75			17.80	6.00			21.65	5.50
		19.75	6.00							21.20	5.75
										20.72	6.00

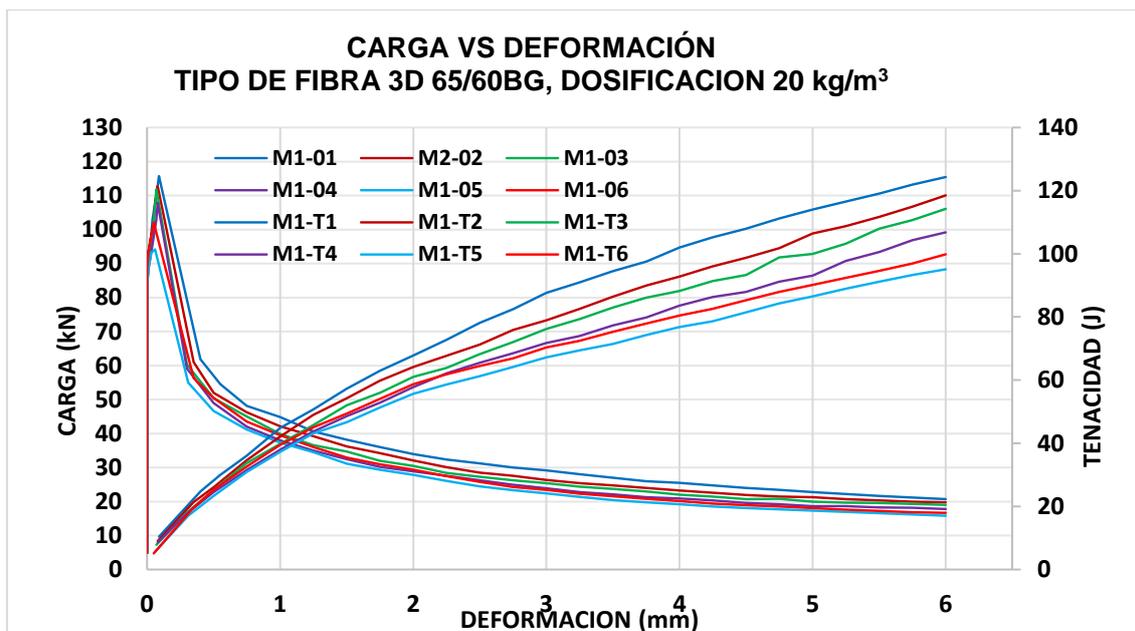


Figura 5–Carga vs deformación del CRFA 3D65/60BG, dosificación 20 kg/m³

Tabla 75–Resistencia residual del CRFA 3D65/60BG, dosificación 25 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deformación (mm)										
4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00	4.90	0.00
9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00	9.81	0.00
14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00	14.71	0.00
19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00	19.61	0.00
24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00	24.52	0.00
29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00	29.42	0.00
34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00	34.32	0.00
39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00	39.23	0.00
44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00	44.13	0.00
49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00	49.03	0.00
53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00	53.94	0.00
58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00	58.84	0.00
63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00	63.74	0.00
68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00	68.65	0.00
73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00	73.55	0.00
78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00	78.45	0.00
83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00	83.36	0.00
88.26	0.00	88.26	0.00	88.26	0.01	88.26	0.00	88.26	0.00	88.26	0.00
93.16	0.01	93.16	0.00	93.16	0.02	93.16	0.00	93.16	0.00	93.16	0.01
98.07	0.02	98.07	0.00	98.07	0.04	98.07	0.00	98.07	0.00	98.07	0.03
102.97	0.03	102.97	0.02	102.97	0.05	102.97	0.03	102.97	0.01	102.97	0.05
107.87	0.04	107.87	0.04	103.07	0.07	107.87	0.05	106.87	0.07	107.87	0.06

110.16	0.08	112.78	0.06	56.30	0.32	111.97	0.08	57.93	0.35	112.78	0.07
59.48	0.30	116.07	0.10	49.20	0.50	60.68	0.30	51.00	0.50	113.97	0.08
55.23	0.35	60.30	0.40	42.50	0.75	50.13	0.50	44.00	0.75	61.80	0.25
44.33	0.75	56.00	0.50	38.20	1.00	44.70	0.75	39.70	1.00	48.50	0.50
40.50	1.00	47.53	0.75	35.54	1.25	41.40	1.00	36.46	1.25	43.20	0.75
38.50	1.25	43.35	1.00	33.70	1.50	38.50	1.25	34.50	1.50	40.00	1.00
36.40	1.50	41.00	1.25	31.70	1.75	37.10	1.50	32.80	1.75	37.86	1.25
34.50	1.75	38.50	1.50	30.20	2.00	35.50	1.75	31.40	2.00	35.90	1.50
32.80	2.00	36.90	1.75	29.20	2.25	33.90	2.00	30.20	2.25	34.56	1.75
31.50	2.25	35.64	2.00	27.70	2.50	32.40	2.25	29.20	2.50	33.10	2.00
30.40	2.50	34.10	2.25	26.90	2.75	31.20	2.50	28.00	2.75	32.30	2.25
29.20	2.75	33.20	2.50	25.90	3.00	29.80	2.75	27.20	3.00	31.00	2.50
28.10	3.00	31.90	2.75	24.75	3.25	28.90	3.00	26.30	3.25	29.60	2.75
27.30	3.25	30.50	3.00	24.10	3.50	27.80	3.25	25.20	3.50	28.90	3.00
26.30	3.50	29.50	3.25	23.30	3.75	26.60	3.50	24.40	3.75	27.63	3.25
25.30	3.75	28.34	3.50	22.52	4.00	25.90	3.75	23.58	4.00	26.50	3.50
24.83	4.00	27.50	3.75	21.72	4.25	25.30	4.00	22.82	4.25	25.85	3.75
24.13	4.25	26.52	4.00	21.17	4.50	24.60	4.25	22.24	4.50	25.40	4.00
23.10	4.50	25.85	4.25	20.65	4.75	23.69	4.50	21.62	4.75	24.50	4.25
22.49	4.75	25.10	4.50	20.08	5.00	22.85	4.75	21.01	5.00	23.87	4.50
21.92	5.00	24.20	4.75	19.50	5.25	22.29	5.00	20.46	5.25	23.17	4.75
21.12	5.25	23.50	5.00	18.80	5.50	21.59	5.25	19.80	5.50	22.62	5.00
20.54	5.50	23	5.25	18.40	5.75	21.01	5.50	19.23	5.75	22.12	5.25
20.11	5.75	22.40	5.50	17.97	6.00	20.60	5.75	18.83	6.00	21.46	5.50
19.45	6.00	21.75	5.75			20.07	6.00			21.03	5.75
		21.23	6.00							20.60	6.00

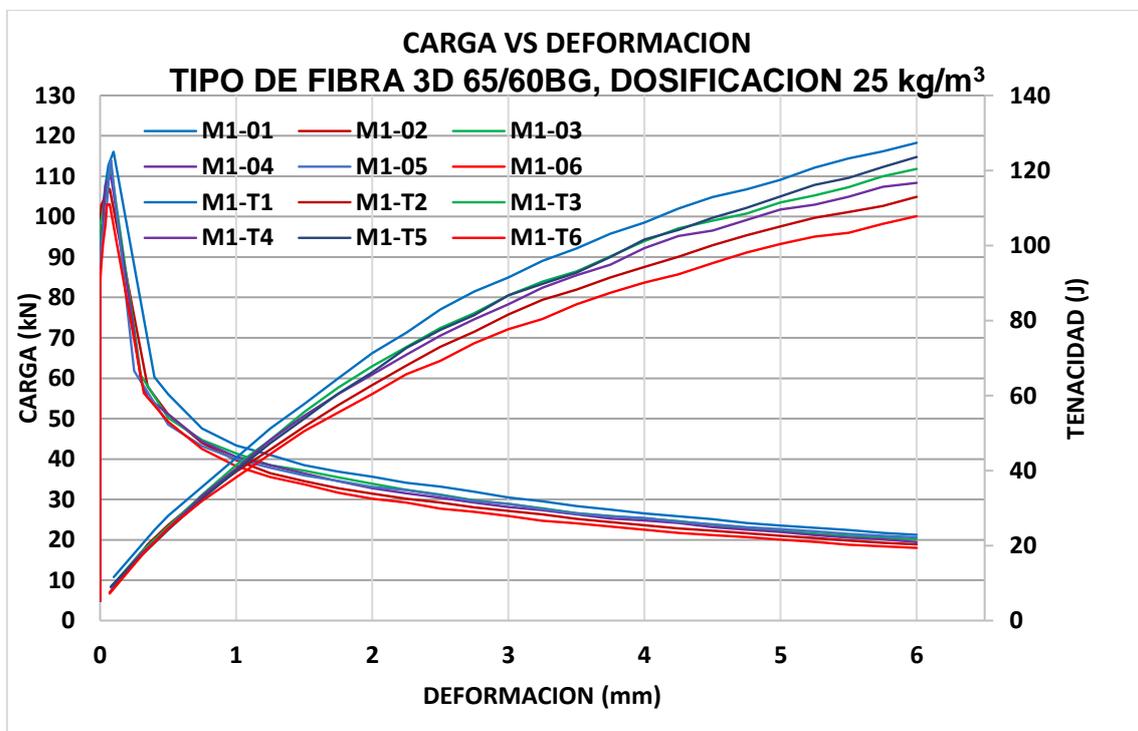


Figura 6–Carga vs deformación del CRFA 3D65/60BG, dosificación 25 kg/m³

Tipo de fibra 3D 80/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 17/10/2018

Fecha de ensayo: 14/11/2018

Tabla 76–Resistencia residual del CRFA 3D 80/60BG, dosificación 10 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deformación (mm)										
10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00
30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00
40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00
50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00
60.00	0.00	60.00	0.01	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00
70.00	0.01	70.00	0.03	70.00	0.00	70.00	0.03	70.00	0.00	70.00	0.00
80.00	0.03	80.00	0.05	80.00	0.03	80.00	0.05	80.00	0.04	80.00	0.01
90.00	0.05	90.00	0.09	90.00	0.06	90.00	0.07	90.00	0.08	90.00	0.03
94.75	0.06	93.66	0.10	97.66	0.10	98.93	0.10	100.00	0.12	91.74	0.04
52.20	0.30	51.30	0.30	53.71	0.30	54.10	0.35	100.52	0.12	50.30	0.25
41.00	0.50	40.00	0.50	40.50	0.50	45.00	0.50	55.42	0.35	38.00	0.50
35.50	0.75	34.00	0.75	35.00	0.75	38.00	0.75	42.00	0.60	32.00	0.75
30.50	1.00	29.50	1.00	31.00	1.00	33.00	1.00	38.50	0.75	27.50	1.00
28.50	1.25	28.00	1.08	28.00	1.25	29.60	1.25	34.20	1.00	25.26	1.25
28.00	1.31	27.00	1.25	25.30	1.50	26.80	1.50	30.50	1.25	23.00	1.50
24.00	1.50	25.00	1.50	23.40	1.75	24.30	1.75	27.60	1.50	21.00	1.75
22.00	1.63	23.00	1.75	21.90	2.00	22.30	2.00	25.40	1.75	19.70	2.00
21.85	1.75	21.00	2.00	20.45	2.25	20.90	2.25	23.62	2.00	18.50	2.25
20.00	2.00	20.00	2.25	19.63	2.50	20.10	2.50	22.00	2.25	17.65	2.50
19.50	2.25	19.00	2.50	18.72	2.75	18.90	2.75	20.80	2.50	17.00	2.75
18.50	2.50	18.00	2.75	17.94	3.00	18.30	3.00	19.75	2.75	16.50	3.00
17.70	2.75	17.50	3.00	17.20	3.25	17.51	3.25	19.00	3.00	15.80	3.25
17.10	3.00	16.90	3.25	16.61	3.50	16.83	3.50	18.10	3.25	15.50	3.50
16.45	3.25	16.48	3.75	16.08	3.75	16.30	3.75	17.41	3.50	15.00	3.75
15.80	3.50	16.36	4.00	15.91	4.00	16.01	4.00	16.90	3.75	14.60	4.00
15.52	3.75	16.34	4.25	15.52	4.25	15.62	4.25	16.15	4.00	14.33	4.25
15.30	4.00	16.31	4.50	15.20	4.50	15.20	4.50	15.80	4.10	14.00	4.50
14.90	4.25	16.20	4.65	14.91	4.75	15.00	4.75	15.72	4.25	13.70	4.75
14.62	4.50	15.00	4.75	14.61	5.00	14.80	5.00	15.46	4.50	13.37	5.00
14.30	4.75	14.40	5.00	14.41	5.25	14.63	5.25	15.23	4.75	13.11	5.25
13.98	5.00	14.10	5.25	14.30	5.50	14.52	5.50	15.10	5.00	12.80	5.50
13.80	5.25	13.90	5.50	14.20	5.75	14.21	5.75	14.88	5.25	12.64	5.75
13.64	5.50	13.65	5.75	14.15	6.00	14.20	6.00	14.76	5.50	12.45	6.00
13.41	5.75	13.50	6.00					14.63	5.75		
13.25	6.00							14.40	6.00		

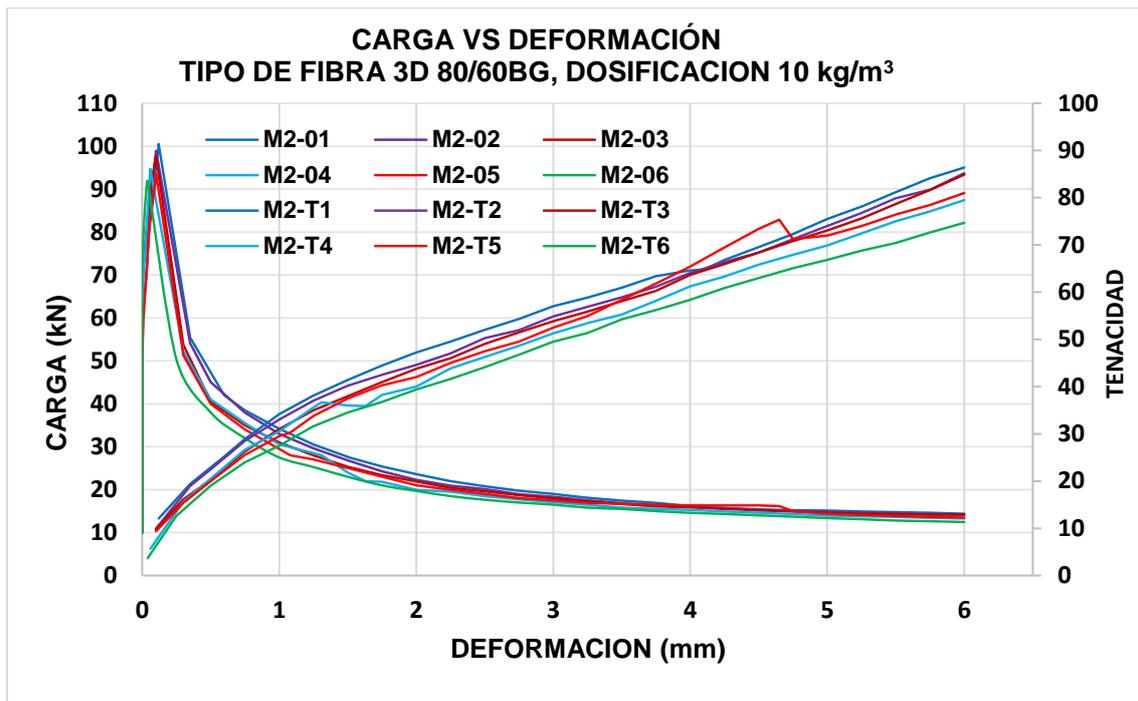


Figura 7–Carga vs deformación del CRFA 3D80/60BG, dosificación 10 kg/m³

Tabla 77–Resistencia residual del CRFA 3D 80/60BG, dosificación 15 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deformación (mm)										
10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00
30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00
40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00
50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00
60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00
70.00	0.00	70.00	0.01	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00
80.00	0.00	80.00	0.03	80.00	0.00	80.00	0.03	80.00	0.01	80.00	0.00
90.00	0.00	90.00	0.05	90.00	0.00	90.00	0.05	90.00	0.03	90.00	0.00
100.00	0.03	99.10	0.08	99.58	0.05	99.07	0.10	97.89	0.05	95.10	0.03
100.34	0.04	54.13	0.25	54.27	0.31	54.00	0.30	53.82	0.25	52.31	0.25
55.32	0.30	42.50	0.50	43.50	0.55	42.00	0.50	42.00	0.50	40.50	0.50
46.65	0.50	37.30	0.75	39.03	0.75	36.90	0.75	36.00	0.75	35.34	0.75
41.40	0.75	33.80	1.00	35.30	1.00	32.75	1.00	32.00	1.00	31.00	1.00
37.00	1.00	30.55	1.25	31.95	1.25	30.10	1.25	29.50	1.25	28.50	1.25
33.85	1.25	28.50	1.50	29.70	1.50	27.70	1.50	27.00	1.50	26.50	1.50
32	1.50	26.55	1.75	27.85	1.75	26.00	1.75	25.20	1.75	24.80	1.75
29.53	1.75	25.40	2.00	26.50	2.00	24.80	2.00	24.10	2.00	23.50	2.00
28.1	2.00	24.45	2.25	25.50	2.25	23.50	2.25	22.80	2.25	22.10	2.25
27	2.25	23.15	2.50	24.26	2.50	22.40	2.50	21.70	2.50	21.10	2.50
25.8	2.50	22.10	2.75	23.19	2.75	21.45	2.75	20.60	2.75	20.00	2.75
24.6	2.75	21.32	3.00	22.08	3.00	20.50	3.00	19.70	3.00	19.12	3.00

23.5	3.00	20.25	3.25	21.40	3.25	19.70	3.25	18.90	3.25	18.30	3.25
22.65	3.25	19.74	3.50	20.35	3.50	18.90	3.50	18.21	3.50	17.75	3.50
22.04	3.50	18.95	3.75	20.00	3.75	18.21	3.75	17.65	3.75	17.25	3.75
21.4	3.75	18.50	4.00	19.24	4.00	17.73	4.00	17.10	4.00	16.75	4.00
20.6	4.00	17.83	4.25	18.70	4.25	17.25	4.25	16.63	4.25	16.31	4.25
20.12	4.25	17.45	4.50	18.23	4.50	16.81	4.50	16.20	4.50	15.82	4.50
19.7	4.50	16.94	4.75	17.73	4.75	16.45	4.75	15.84	4.75	15.51	4.75
19.13	4.75	16.72	5.00	17.4	5.00	16.25	5.00	15.65	5.00	15.13	5.00
18.75	5.00	16.35	5.25	16.90	5.25	15.92	5.25	15.43	5.25	14.85	5.25
18.31	5.25	16.07	5.50	16.72	5.50	15.65	5.50	15.27	5.50	14.65	5.50
17.95	5.50	15.85	5.75	16.35	5.75	15.52	5.75	15.20	5.75	14.45	5.75
17.71	5.75	15.75	6.00	16.20	6.00	15.50	6.00	15.15	6.00	14.27	6.00
17.44	6.00										

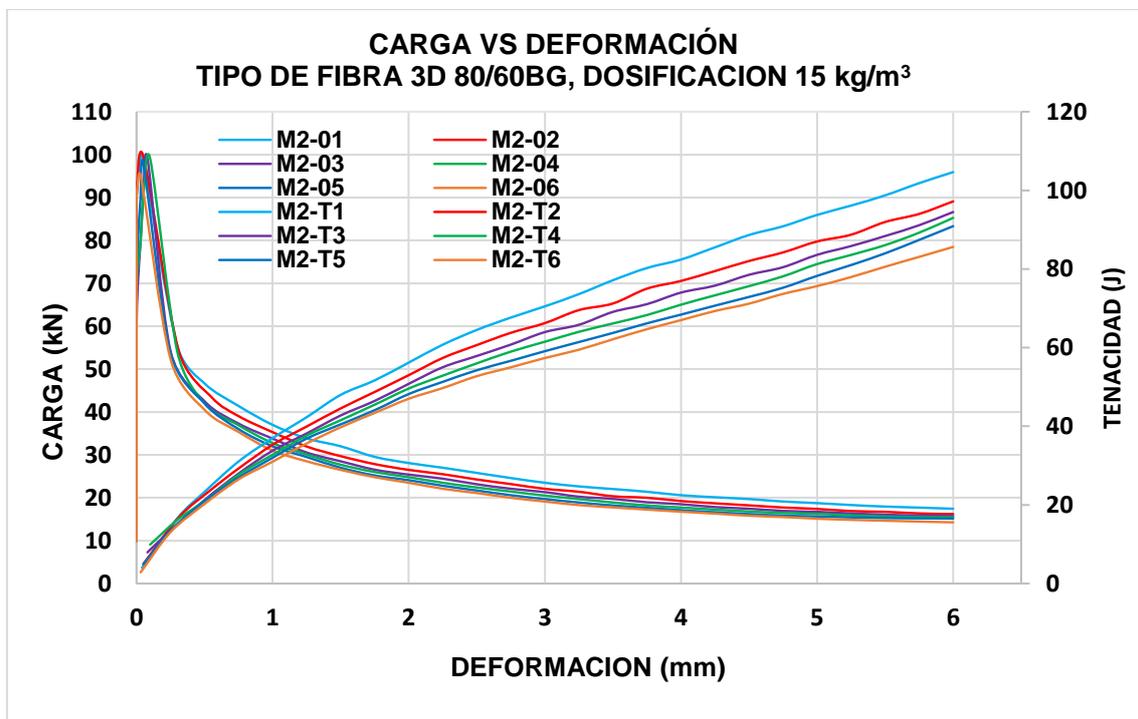


Figura 8–Carga vs deformación del CRFA 3D80/60BG, dosificación 15 kg/m³

Tabla 78–Resistencia residual del CRFA 3D 80/60BG, dosificación 20 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deformación (mm)										
10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00
30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00
40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00
50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00
60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00

70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00
80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.03	80.00	0.00	80.00	0.00
90.00	0.00	90.00	0.03	90.00	0.03	90.00	0.05	90.00	0.02	90.00	0.00
97.03	0.03	100.00	0.05	100.00	0.06	100.00	0.06	100.00	0.05	100.00	0.03
100.34	0.06	107.25	0.08	103.02	0.08	101.26	0.06	104.58	0.08	104.45	0.06
55.36	0.25	58.37	0.35	56.80	0.25	56.13	0.25	57.28	0.28	57.16	0.30
45.00	0.50	50.47	0.55	47.50	0.50	44.80	0.50	48.47	0.50	48.80	0.50
40.00	0.75	45.77	0.75	42.20	0.75	40.00	0.75	43.77	0.75	42.80	0.75
36.21	1.00	41.97	1.00	39.00	1.00	36.90	1.00	40.27	1.00	39.80	1.00
33.21	1.25	38.67	1.25	35.90	1.25	34.31	1.25	37.07	1.25	36.50	1.25
30.50	1.50	35.67	1.50	32.80	1.50	31.50	1.50	34.13	1.50	33.50	1.50
28.43	1.75	33.23	1.75	30.60	1.75	29.40	1.75	32.07	1.75	31.26	1.75
26.50	2.00	31.51	2.00	28.60	2.00	27.40	2.00	30.13	2.00	29.36	2.00
25.26	2.25	29.97	2.25	26.80	2.25	25.80	2.25	28.51	2.25	27.51	2.25
23.71	2.50	28.53	2.50	25.10	2.50	24.50	2.50	26.96	2.50	25.95	2.50
22.53	2.75	27.17	2.75	23.80	2.75	23.10	2.75	25.82	2.75	24.71	2.75
21.53	3.00	26.27	3.00	22.90	3.00	22.20	3.00	24.71	3.00	23.75	3.00
20.54	3.25	25.37	3.25	22.00	3.25	21.20	3.25	23.73	3.25	22.72	3.25
19.74	3.50	24.51	3.50	21.10	3.50	20.42	3.50	22.95	3.50	21.91	3.50
19.18	3.75	23.82	3.75	20.55	3.75	19.84	3.75	22.48	3.75	21.44	3.75
18.61	4.00	23.17	4.00	20.00	4.00	19.42	4.00	21.73	4.00	20.80	4.00
18.25	4.25	22.57	4.25	19.65	4.25	19.00	4.25	21.27	4.25	20.41	4.25
17.84	4.50	22.07	4.50	19.35	4.50	18.60	4.50	20.85	4.50	20.01	4.50
17.62	4.75	21.54	4.75	18.90	4.75	18.25	4.75	20.47	4.75	19.71	4.75
17.45	5.00	21.17	5.00	18.81	5.00	18.10	5.00	20.23	5.00	19.52	5.00
17.21	5.25	20.81	5.25	18.52	5.25	17.92	5.25	19.81	5.25	19.25	5.25
17.10	5.50	20.51	5.50	18.41	5.50	17.80	5.50	19.47	5.50	19.00	5.50
16.95	5.75	20.17	5.75	18.20	5.75	17.70	5.75	19.31	5.75	18.75	5.75
16.83	6.00	19.90	6.00	18.10	6.00	17.60	6.00	19.12	6.00	18.70	6.00

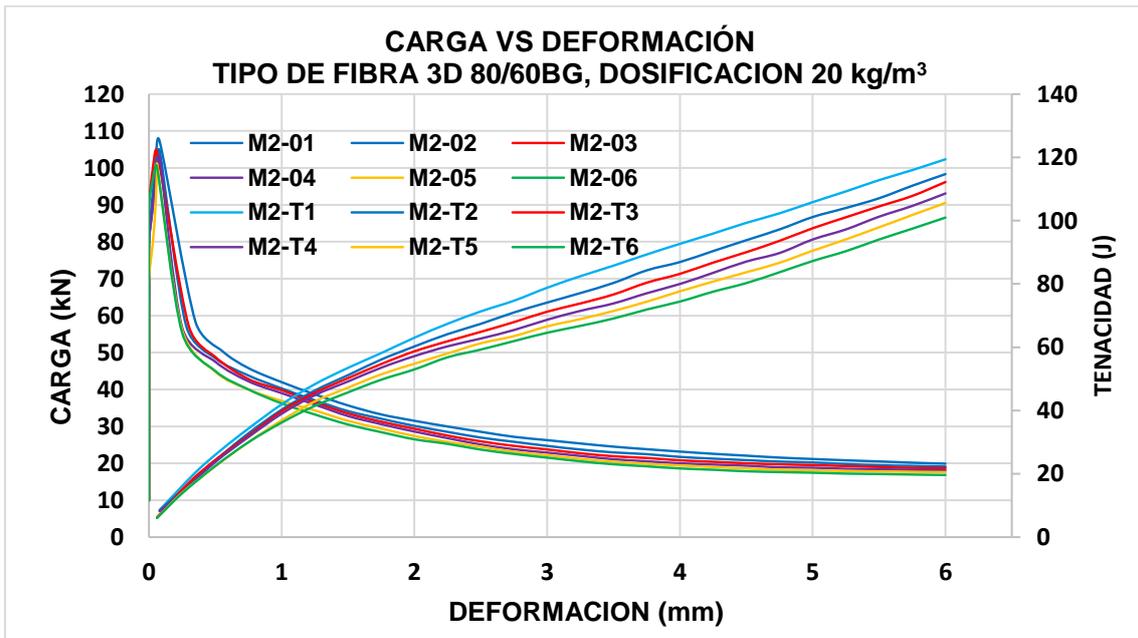


Figura 9–Carga vs deformación del CRFA 3D80/60BG, dosificación 20 kg/m³

Tipo de fibra 4D 55/60BG

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 18/10/2018

Fecha de ensayo: 15/11/2018

Tabla 79–Resistencia residual del CRFA 4D55/60BG, dosificación 20 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deformación (mm)										
10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00
30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00
40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00
50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00
60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00
70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00
80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.01
90.00	0.00	90.00	0.00	90.00	0.00	90.00	0.00	90.00	0.00	90.00	0.03
100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.01	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.05
106.49	0.10	110.00	0.00	107.72	0.05	110.00	0.03	106.61	0.05	102.80	0.09
57.32	0.32	113.84	0.10	53.85	0.45	111.11	0.06	59.27	0.30	56.24	0.25
47.4	0.50	59.96	0.50	47.42	0.65	56.61	0.47	48.8	0.50	43.9	0.50
40.60	0.75	55.6	0.60	44.80	0.75	52	0.60	41.80	0.75	38.50	0.75
36.80	1.00	51.50	0.75	40.60	1.00	48.00	0.75	38.10	1.00	34.50	1.00
33.80	1.25	46.00	1.00	37.37	1.25	42.74	1.00	35.40	1.25	32.13	1.25
32.01	1.50	42.34	1.25	35.04	1.50	39.52	1.25	33.35	1.50	30.44	1.50
30.50	1.75	39.15	1.50	33.41	1.75	37.25	1.50	31.57	1.75	28.92	1.75
29.00	2.00	37.20	1.75	31.70	2.00	35.05	1.75	30.27	2.00	27.81	2.00
27.65	2.25	35.40	2.00	30.20	2.25	33.50	2.00	28.81	2.25	26.65	2.25
26.40	2.50	33.65	2.25	28.90	2.50	32.14	2.25	27.60	2.50	25.41	2.50
25.63	2.75	32.50	2.50	27.90	2.75	30.80	2.50	26.45	2.75	24.46	2.75
24.80	3.00	31.00	2.75	26.80	3.00	29.50	2.75	25.55	3.00	23.82	3.00
24.00	3.25	29.85	3.00	25.81	3.25	28.50	3.00	24.70	3.25	23.10	3.25
23.50	3.50	28.90	3.25	25.03	3.50	27.70	3.25	24.12	3.50	22.60	3.50
23.10	3.75	28.00	3.50	24.50	3.75	26.90	3.50	23.52	3.75	22.02	3.75
22.55	4.00	27.20	3.75	23.75	4.00	26.25	3.75	23.12	4.00	21.71	4.00
22.05	4.25	26.60	4.00	23.35	4.25	25.50	4.00	22.53	4.25	21.22	4.25
21.70	4.50	26.00	4.25	22.80	4.50	24.90	4.25	22.22	4.50	20.91	4.50
21.40	4.75	25.54	4.50	22.35	4.75	24.30	4.50	21.80	4.75	20.51	4.75
21.05	5.00	25.11	4.75	22.05	5.00	23.90	4.75	21.5	5.00	20.13	5.00
20.75	5.25	24.7	5.00	21.73	5.25	23.35	5.00	21.25	5.25	19.92	5.25
20.55	5.50	24.25	5.25	21.5	5.50	23.02	5.25	20.96	5.50	19.65	5.50
20.3	5.75	23.82	5.50	21.25	5.75	22.7	5.50	20.75	5.75	19.44	5.75
20.1	6.00	23.47	5.75	20.97	6.00	22.28	5.75	20.5	6.00	19.3	6.00
		23.15	6.00			21.95	6.00				

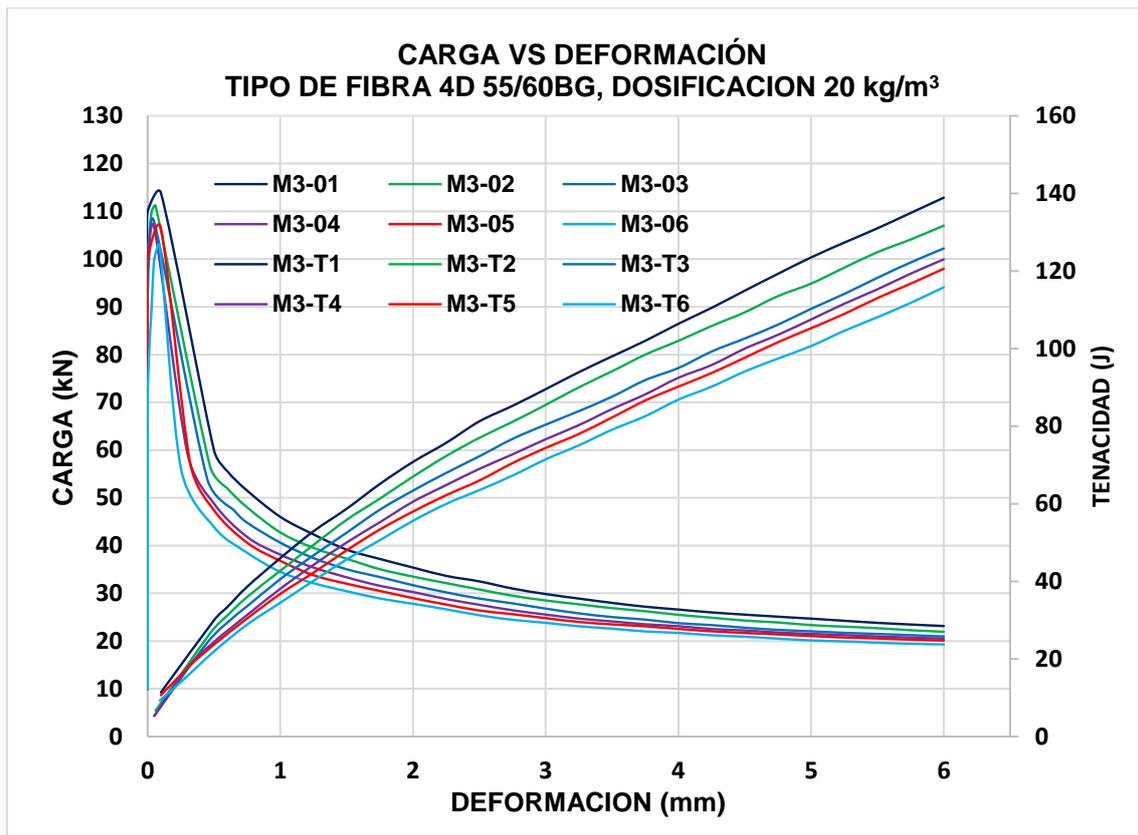


Figura 10–Carga vs deformación del CRFA 4D55/60BG, dosificación 20 kg/m³

Tabla 80–Resistencia residual del CRFA 4D55/60BG, dosificación 25 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deformación (mm)										
10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00
30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00
40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00
50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00
60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00
70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00
80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00
90.00	0.00	90.00	0.00	90.00	0.00	90.00	0.00	90.00	0.00	90.00	0.00
100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
110.00	0.03	113.84	0.00	107.19	0.08	110.00	0.03	102.74	0.03	110.00	0.01
115.44	0.10	113.84	0.01	59.31	0.27	112.22	0.06	58.2	0.20	114.34	0.03
60.22	0.53	60	0.35	47.07	0.48	61.31	0.25	44.37	0.50	58.17	0.45
57.23	0.60	52.52	0.50	40.90	0.75	49.90	0.45	38.95	0.75	56.80	0.47
50.75	0.85	46.31	0.75	37.85	1.00	43.45	0.75	35.91	1.00	48.72	0.75
47.78	1.00	42.82	1.00	35.25	1.25	40.33	1.00	33.65	1.25	44.71	1.00
44.40	1.25	39.53	1.25	33.35	1.50	37.61	1.25	31.82	1.50	41.45	1.25
41.43	1.50	37.22	1.50	31.85	1.75	35.11	1.50	30.39	1.75	38.72	1.50

39.57	1.75	35.34	1.75	30.76	2.00	33.71	1.75	29.42	2.00	36.92	1.75
38.01	2.00	34.15	2.00	29.72	2.25	32.55	2.00	28.55	2.25	35.56	2.00
36.63	2.25	33.01	2.25	28.74	2.50	31.32	2.25	27.65	2.50	34.53	2.25
35.43	2.50	32.01	2.50	28.05	2.75	30.45	2.50	27.08	2.75	33.36	2.50
34.42	2.75	31.25	2.75	27.25	3.00	29.55	2.75	26.41	3.00	32.64	2.75
33.65	3.00	30.55	3.00	26.69	3.25	29.07	3.00	25.83	3.25	31.97	3.00
32.82	3.25	29.88	3.25	26.13	3.50	28.32	3.25	25.32	3.50	31.26	3.25
32.15	3.50	29.32	3.50	25.75	3.75	27.79	3.50	24.90	3.75	30.62	3.50
31.51	3.75	28.82	3.75	25.45	4.00	27.45	3.75	24.52	4.00	30.07	3.75
30.95	4.00	28.31	4.00	25.10	4.25	27.21	4.00	24.26	4.25	29.43	4.00
30.50	4.25	27.82	4.25	24.85	4.50	26.76	4.25	24.03	4.50	29.02	4.25
29.82	4.50	27.49	4.50	24.55	4.75	26.52	4.50	23.69	4.75	28.36	4.50
29.33	4.75	27.07	4.75	24.35	5.00	25.92	4.75	23.45	5.00	27.71	4.75
28.89	5.00	26.66	5.00	24.10	5.25	25.75	5.00	23.05	5.25	27.38	5.00
28.51	5.25	26.41	5.25	23.98	5.50	25.42	5.25	23.10	5.50	27.19	5.25
28.11	5.50	25.92	5.50	23.75	5.75	25.19	5.50	22.83	5.75	26.59	5.50
27.66	5.75	25.67	5.75	23.61	6.00	24.98	5.75	22.67	6.00	26.29	5.75
27.35	6.00	25.55	6.00			24.75	6.00			26.03	6.00

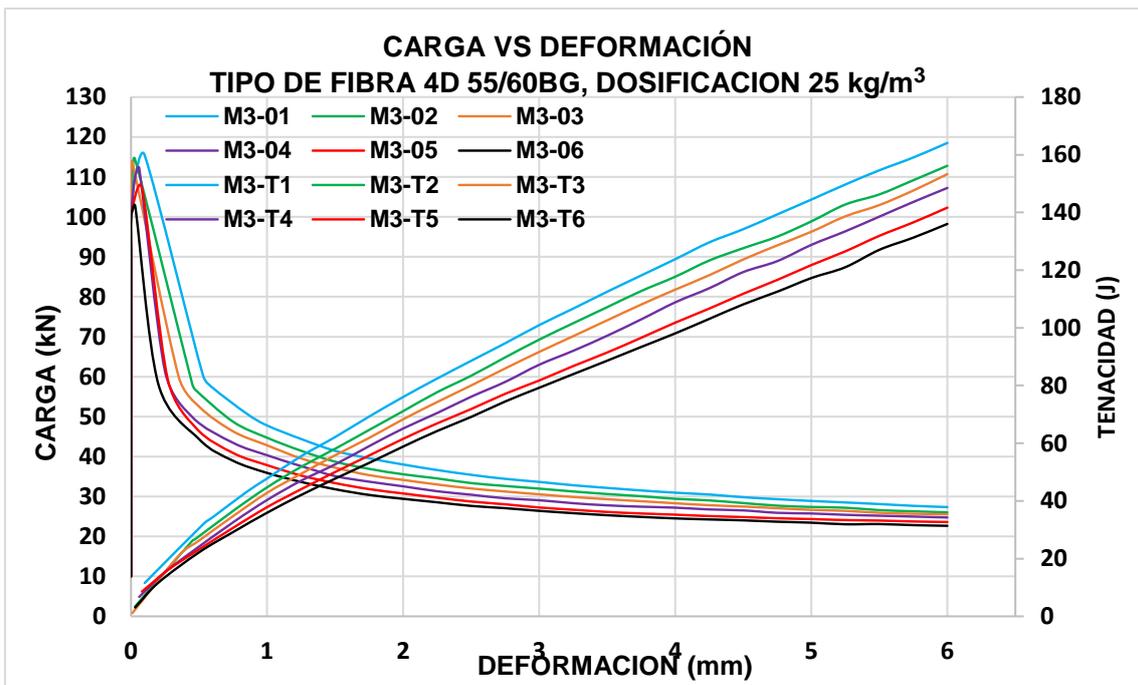


Figura 11–Carga vs deformación del CRFA 4D55/60BG, dosificación 25 kg/m³

Tabla 81–Resistencia residual del CRFA 4D55/60BG, dosificación 30 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deforcación (mm)										
10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00
30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00

40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00
50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00
60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00
70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00
80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00	80.00	0.00
90.00	0.00	90.00	0.00	90.00	0.03	90.00	0.00	90.00	0.01	90.00	0.00
100.00	0.01	100.00	0.03	100.00	0.06	100.00	0.01	100.00	0.03	100.00	0.01
110.00	0.03	110.00	0.07	104.42	0.08	110.00	0.03	109.03	0.08	110.00	0.03
111.91	0.05	110.64	0.09	71.15	0.25	116.63	0.08	77.31	0.25	114.27	0.05
72.46	0.25	71.75	0.25	59.25	0.50	75.00	0.35	62.20	0.50	73.14	0.30
61.01	0.50	60.20	0.50	53.50	0.75	63.65	0.60	55.70	0.75	62.85	0.50
55.61	0.75	55.20	0.75	49.95	1.00	60.20	0.75	52.20	1.00	57.00	0.75
52.21	1.00	52.20	1.00	46.70	1.25	56.20	1.00	49.33	1.25	53.79	1.00
50.01	1.25	49.30	1.25	44.10	1.50	53.40	1.25	46.80	1.50	51.50	1.25
47.51	1.50	46.70	1.50	42.20	1.75	51.30	1.50	44.70	1.75	49.50	1.50
45.81	1.75	45.00	1.75	40.80	2.00	49.80	1.75	43.05	2.00	48.00	1.75
44.81	2.00	43.60	2.00	39.50	2.25	48.40	2.00	42.00	2.25	47.12	2.00
43.51	2.25	42.60	2.25	38.40	2.50	47.20	2.25	40.90	2.50	45.50	2.25
42.51	2.50	41.60	2.50	37.41	2.75	46.10	2.50	39.90	2.75	44.59	2.50
41.51	2.75	40.60	2.75	36.64	3.00	45.10	2.75	39.03	3.00	43.50	2.75
40.51	3.00	39.80	3.00	36.00	3.25	44.10	3.00	38.20	3.25	42.50	3.00
39.77	3.25	39.10	3.25	35.10	3.50	43.20	3.25	37.70	3.50	41.70	3.25
39.01	3.50	38.30	3.50	34.65	3.75	42.30	3.50	37.12	3.75	40.80	3.50
38.22	3.75	37.60	3.75	33.92	4.00	41.50	3.75	36.46	4.00	40.00	3.75
37.61	4.00	37.10	4.00	33.51	4.25	40.95	4.00	35.83	4.25	39.40	4.00
37.11	4.25	36.51	4.25	32.95	4.50	40.30	4.25	35.49	4.50	38.70	4.25
36.51	4.50	36.03	4.50	32.49	4.75	39.81	4.50	35.07	4.75	38.10	4.50
36.01	4.75	35.37	4.75	32.29	5.00	39.20	4.75	34.70	5.00	37.40	4.75
35.51	5.00	35.05	5.00	31.70	5.25	38.67	5.00	34.15	5.25	37.00	5.00
35.01	5.25	34.55	5.25	31.56	5.50	38.10	5.25	33.76	5.50	36.40	5.25
34.51	5.50	34.10	5.50	31.15	5.75	37.60	5.50	33.45	5.75	35.80	5.50
34.22	5.75	33.85	5.75	30.75	6.00	37.14	5.75	33.18	6.00	35.42	5.75
33.88	6.00	33.56	6.00			36.71	6.00			34.95	6.00

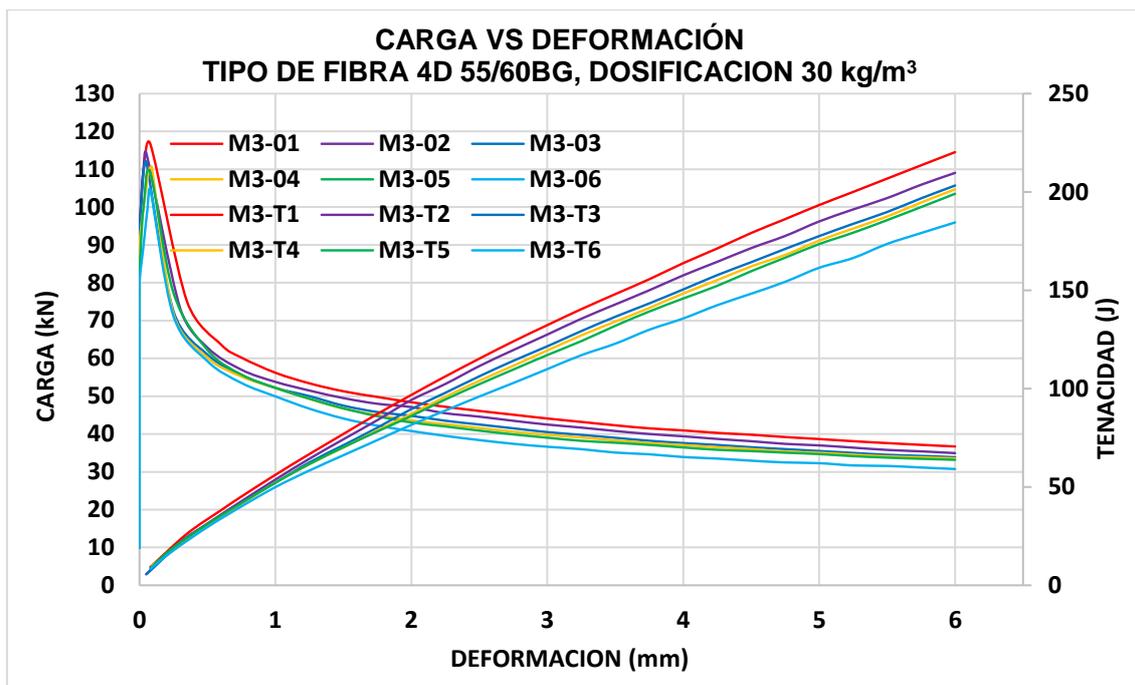


Figura 12–Carga vs deformación del CRFA 4D55/60BG, dosificación 30 kg/m³

Tipo de fibra 3D 45/35BL

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 20/10/2018

Fecha de ensayo: 17/11/2018

Tabla 82–Resistencia residual del CRFA 3D45/35BL, dosificación 30 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deforcación (mm)										
10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00
30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00
40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00
50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00
60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00
70.00	0.01	70.00	0.01	70.00	0.01	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00
77.22	0.03	74.71	0.03	77.96	0.05	70.87	0.00	74.52	0.00	80.00	0.01
46.20	0.30	44.12	0.25	46.42	0.30	45.10	0.20	45.45	0.20	84.52	0.05
39.20	0.50	37.25	0.45	40.00	0.50	33.24	0.50	36.45	0.45	47.10	0.40
33.50	0.75	30.46	0.75	34.50	0.75	28.60	0.75	29.50	0.75	40.12	0.65
30.00	1.00	27.25	1.00	30.70	1.00	25.50	1.00	26.44	1.00	38.50	0.75
27.10	1.25	24.80	1.25	28.05	1.25	22.81	1.25	24.28	1.25	34.15	1.00
25.27	1.50	23.05	1.50	25.81	1.50	21.45	1.50	23.01	1.50	31.21	1.25
23.90	1.75	21.92	1.75	23.85	1.75	20.13	1.75	21.31	1.75	28.85	1.50
22.85	2.00	20.85	2.00	22.53	2.00	19.10	2.00	20.20	2.00	26.95	1.75
21.87	2.25	19.83	2.25	21.56	2.25	18.07	2.25	19.20	2.25	25.45	2.00
20.42	2.50	18.93	2.50	20.74	2.50	17.19	2.50	18.41	2.50	24.35	2.25

19.64	2.75	18.15	2.75	19.95	2.75	16.65	2.75	17.77	2.75	23.11	2.50
18.88	3.00	17.75	3.00	19.15	3.00	16.15	3.00	17.41	3.00	22.20	2.75
18.14	3.25	17.15	3.25	18.53	3.25	15.91	3.25	16.71	3.25	21.43	3.00
17.69	3.50	16.83	3.50	18.10	3.50	15.40	3.50	16.30	3.50	20.75	3.25
17.26	3.75	16.39	3.75	17.55	3.75	15.20	3.75	16.10	3.75	20.13	3.50
16.95	4.00	16.18	4.00	17.20	4.00	14.86	4.00	15.81	4.00	19.55	3.75
16.52	4.25	15.92	4.25	16.85	4.25	14.65	4.25	15.61	4.25	19.14	4.00
16.41	4.50	15.78	4.50	16.65	4.50	14.50	4.50	15.32	4.50	18.81	4.25
16.08	4.75	15.63	4.75	16.45	4.75	14.42	4.75	15.10	4.75	18.45	4.50
15.92	5.00	15.51	5.00	16.25	5.00	14.30	5.00	15.00	5.00	18.15	4.75
15.78	5.25	15.30	5.25	16.00	5.25	14.20	5.25	14.85	5.25	17.83	5.00
15.55	5.50	15.12	5.50	15.90	5.50	14.10	5.50	14.68	5.50	17.65	5.25
15.41	5.75	14.87	5.75	15.75	5.75	13.90	5.75	14.53	5.75	17.42	5.50
15.32	6.00	14.75	6.00	15.57	6.00	13.75	6.00	14.42	6.00	17.20	5.75
										17.05	6.00

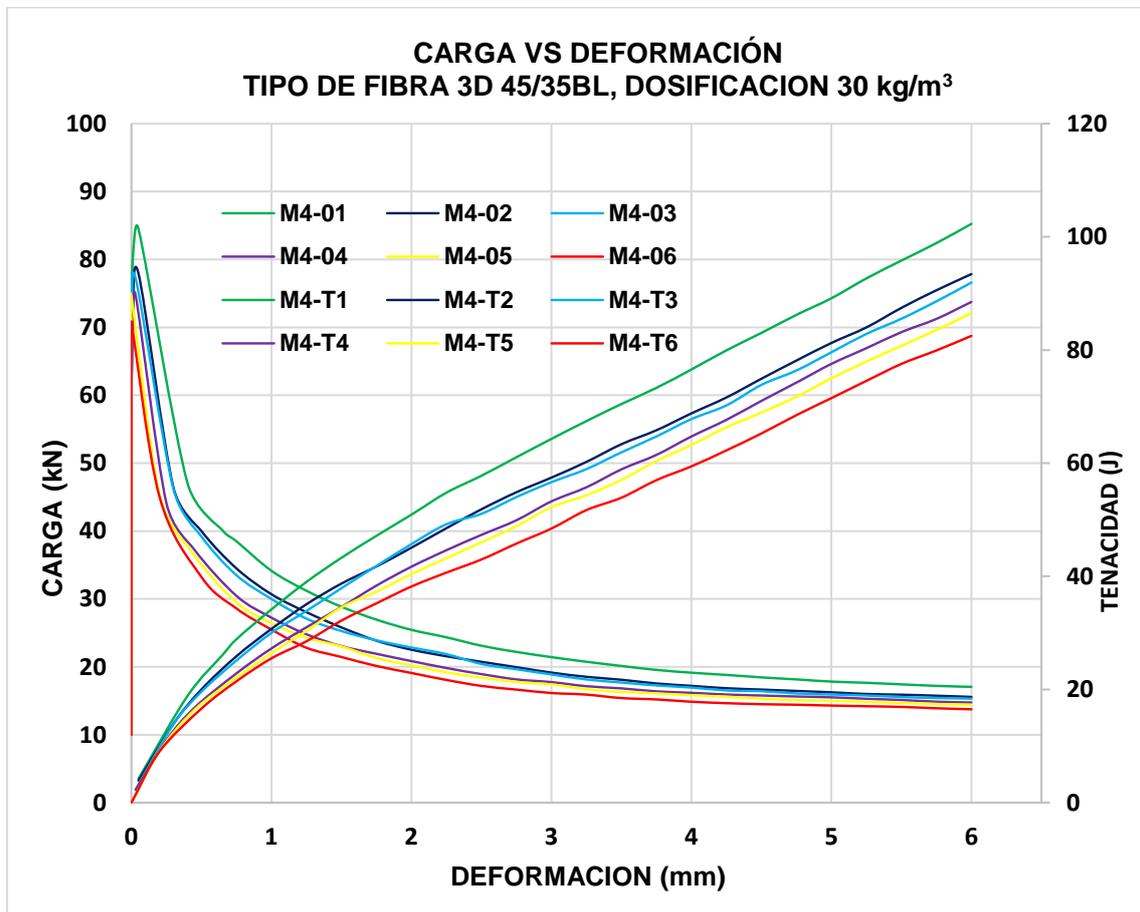


Figura 13–Carga vs deformación del CRFA 4D45/35BL, dosificación 30 kg/m³

Tabla 83–Resistencia residual del CRFA 3D45/35BL, dosificación 35 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deformación (mm)										

10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00
30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00
40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00
50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00
60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00
70.00	0.01	70.00	0.02	70.00	0.01	70.00	0.02	70.00	0.01	70.00	0.02
84.25	0.05	78.67	0.06	78.05	0.04	76.33	0.06	74.52	0.05	81.28	0.05
50.21	0.30	48.45	0.25	48.43	0.20	46.12	0.25	46.45	0.21	46.91	0.30
40.15	0.60	37.20	0.50	37.50	0.45	40.95	0.34	42.25	0.30	43.00	0.40
36.10	0.75	32.35	0.75	31.00	0.75	29.75	0.75	29.33	0.75	34.15	0.75
32.30	1.00	29.00	1.00	27.65	1.00	26.35	1.00	26.26	1.00	30.41	1.00
29.50	1.25	26.53	1.25	25.55	1.25	24.21	1.25	23.73	1.25	28.05	1.25
27.15	1.50	24.80	1.50	23.85	1.50	22.50	1.50	22.14	1.50	25.85	1.50
25.75	1.75	23.10	1.75	22.30	1.75	21.20	1.75	20.85	1.75	24.41	1.75
24.51	2.00	21.95	2.00	21.20	2.00	20.20	2.00	19.95	2.00	23.23	2.00
23.55	2.25	21.45	2.25	20.55	2.25	19.40	2.25	18.95	2.25	22.21	2.25
22.65	2.50	20.51	2.50	19.83	2.50	18.81	2.50	18.31	2.50	21.51	2.50
22.02	2.75	20.10	2.75	19.40	2.75	18.45	2.75	17.80	2.75	20.85	2.75
21.45	3.00	19.41	3.00	18.91	3.00	18.15	3.00	17.34	3.00	20.36	3.00
20.90	3.25	19.10	3.25	18.35	3.25	17.72	3.25	17.00	3.25	19.83	3.25
20.50	3.50	18.71	3.50	18.23	3.50	17.3	3.50	16.72	3.50	19.45	3.50
20.10	3.75	18.45	3.75	17.71	3.75	17.02	3.75	16.37	3.75	19.15	3.75
19.91	4.00	18.12	4.00	17.45	4.00	16.86	4.00	16.05	4.00	18.95	4.00
19.52	4.25	17.91	4.25	17.15	4.25	16.65	4.25	15.91	4.25	18.65	4.25
19.31	4.50	17.75	4.50	17.13	4.50	16.50	4.50	15.70	4.50	18.30	4.50
19.10	4.75	17.60	4.75	17.01	4.75	16.38	4.75	15.50	4.75	18.25	4.75
18.82	5.00	17.45	5.00	16.95	5.00	16.15	5.00	15.40	5.00	18.03	5.00
18.68	5.25	17.41	5.25	16.85	5.25	16.05	5.25	15.15	5.25	17.81	5.25
18.55	5.50	17.02	5.50	16.61	5.50	15.86	5.50	14.98	5.50	17.65	5.50
18.38	5.75	16.95	5.75	16.60	5.75	15.75	5.75	14.83	5.75	17.62	5.75
18.31	6.00	16.83	6.00	16.50	6.00	15.65	6.00	14.75	6.00	17.55	6.00

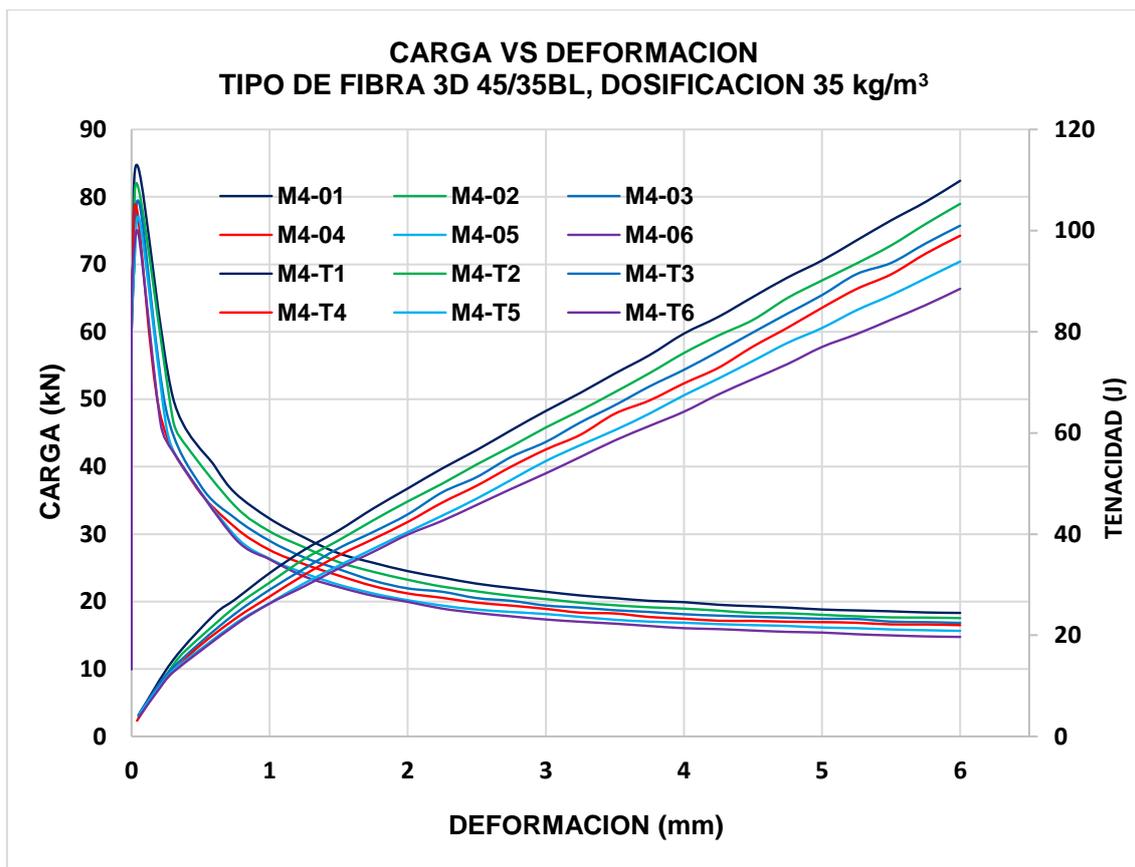


Figura 14–Carga vs deformación del CRFA 4D45/35BL, dosificación 35 kg/m³

Tabla 84–Resistencia residual del CRFA 3D45/35BL, dosificación 40 kg/m³

MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05		MUESTRA 06	
Carga (KN)	Deformación (mm)										
10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00
30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	0.00
40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	0.00
50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00
60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00	0.00
70.00	0.00	70.00	0.03	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00
77.52	0.00	79.97	0.07	80.00	0.00	80.00	0.03	79.42	0.01	80.00	0.00
42.21	0.25	45.49	0.25	84.80	0.01	86.67	0.06	45.45	0.20	84.44	0.00
35.00	0.45	35.80	0.50	47.43	0.25	52.91	0.20	35.00	0.45	49.10	0.20
29.50	0.75	31.00	0.75	35.81	0.55	39.25	0.50	29.00	0.75	37.00	0.45
26.70	1.00	27.65	1.00	33.31	0.75	34.23	0.75	26.21	1.00	31.00	0.75
24.35	1.25	25.20	1.25	30.46	1.00	31.21	1.00	24.10	1.25	28.41	1.00
22.50	1.50	23.53	1.50	28.31	1.25	29.33	1.25	22.20	1.50	26.26	1.25
20.91	1.75	22.25	1.75	26.71	1.50	27.5	1.50	21.10	1.75	24.61	1.50
19.95	2.00	21.52	2.00	25.60	1.75	26.55	1.75	20.21	2.00	23.52	1.75
19.30	2.25	20.75	2.25	25.12	2.00	25.85	2.00	19.51	2.25	22.81	2.00

18.42	2.50	20.12	2.50	24.21	2.25	25.38	2.25	18.82	2.50	22.11	2.25
18.21	2.75	19.61	2.75	23.74	2.50	24.31	2.50	18.45	2.75	21.65	2.50
17.61	3.00	19.21	3.00	23.06	2.75	23.92	2.75	18.19	3.00	21.01	2.75
17.52	3.25	18.95	3.25	22.82	3.00	23.55	3.00	17.77	3.25	20.81	3.00
17.11	3.50	18.54	3.50	22.45	3.25	23.05	3.25	17.45	3.50	20.33	3.25
16.85	3.75	18.20	3.75	22.25	3.50	22.83	3.50	17.31	3.75	20.08	3.50
16.61	4.00	18.23	4.00	21.95	3.75	22.72	3.75	17.13	4.00	19.80	3.75
16.52	4.25	17.85	4.25	21.72	4.00	22.36	4.00	17.00	4.25	19.65	4.00
16.48	4.50	17.72	4.50	21.45	4.25	22.15	4.25	16.90	4.50	19.41	4.25
16.25	4.75	17.50	4.75	21.17	4.50	21.9	4.50	16.85	4.75	19.05	4.50
16.12	5.00	17.35	5.00	20.82	4.75	21.72	4.75	16.73	5.00	19.00	4.75
15.98	5.25	17.24	5.25	20.65	5.00	21.45	5.00	16.51	5.25	18.80	5.00
15.85	5.50	17.12	5.50	20.65	5.25	21.25	5.25	16.35	5.50	18.65	5.25
15.68	5.75	16.95	5.75	20.32	5.50	21.06	5.50	16.17	5.75	18.55	5.50
15.50	6.00	16.85	6.00	20.15	5.75	20.85	5.75	16.10	6.00	18.40	5.75
				19.97	6.00	20.65	6.00			18.35	6.00

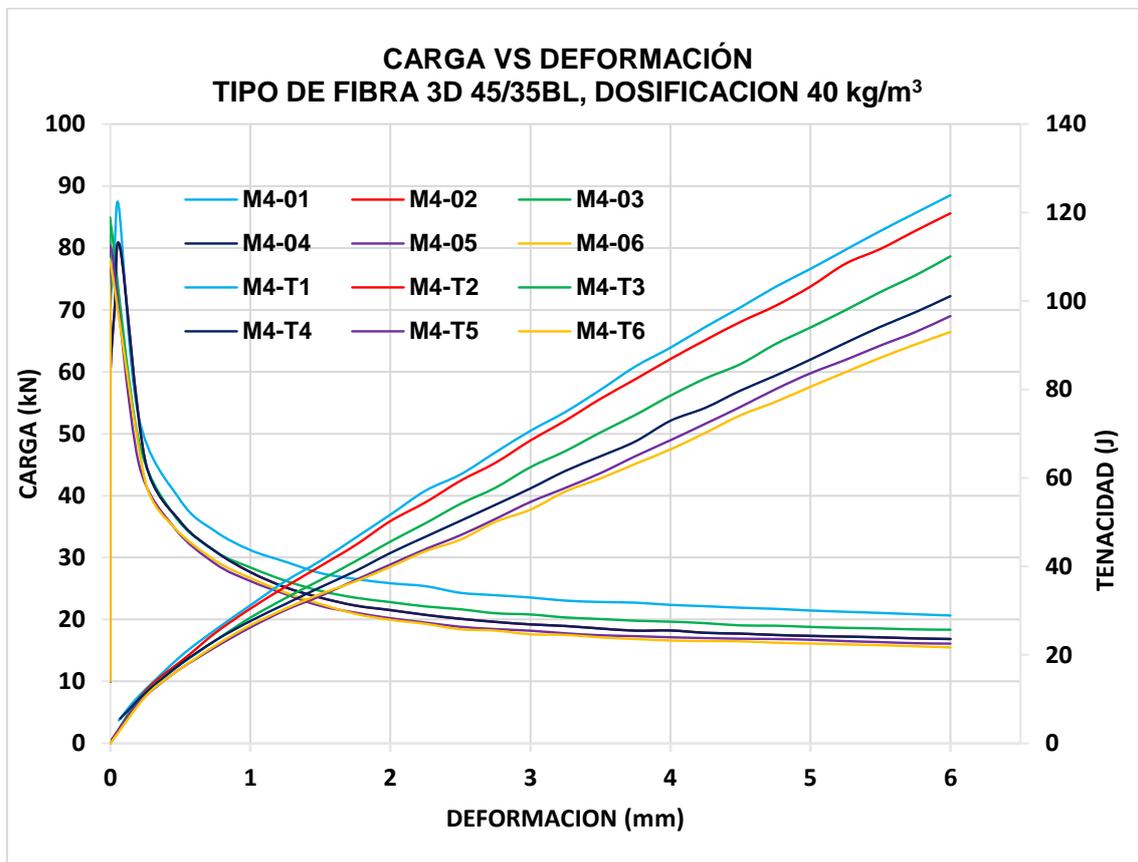


Figura 15–Carga vs deformación del CRFA 4D45/35BL, dosificación 40 kg/m³

TENACIDAD DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (CRFA)

Tipo de fibra 3D 65/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 16/11/2018

Fecha de ensayo: 14/12/2018

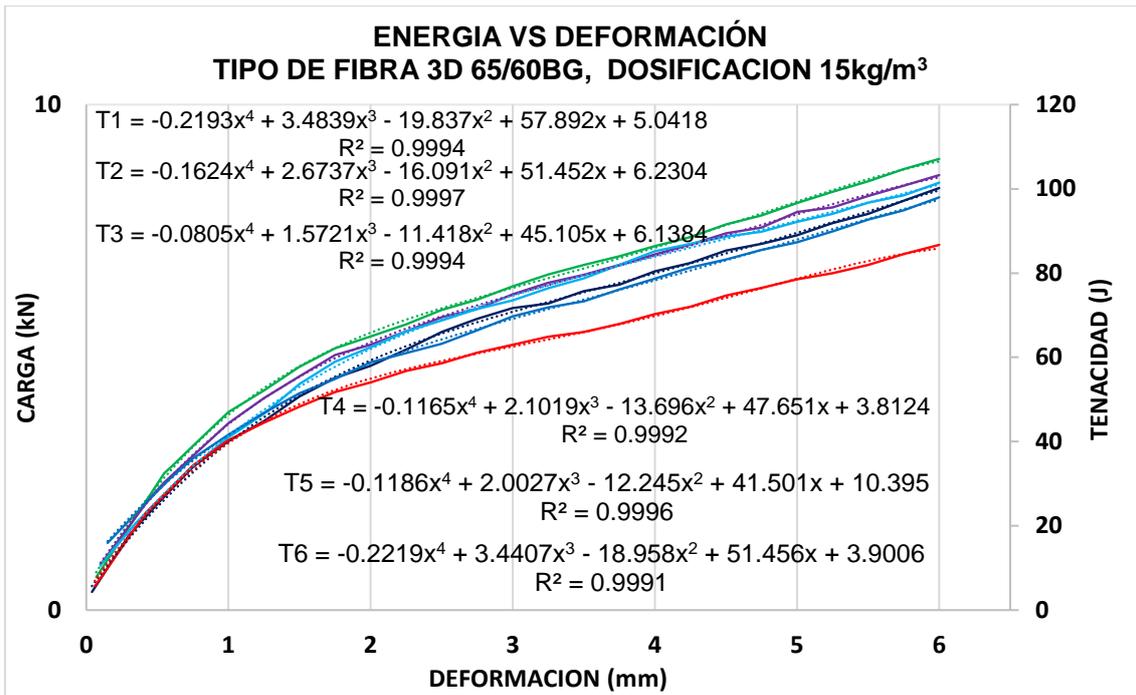


Figura 16–Tenacidad del CRFA 3D65/60BG, dosificación 15kg/m³

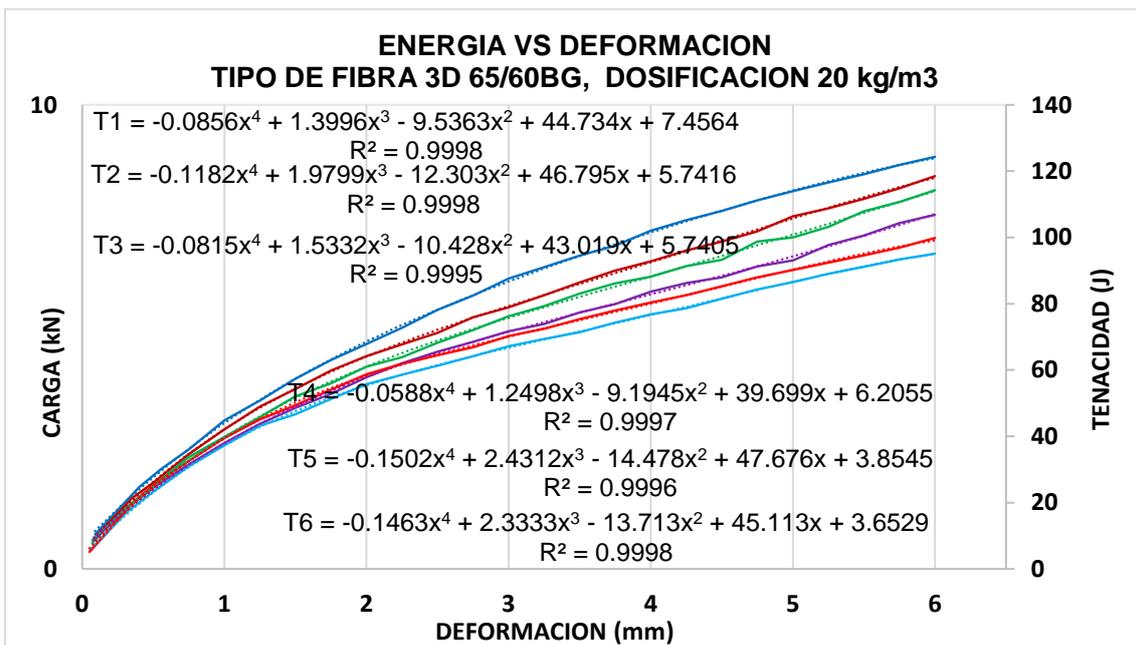


Figura 17–Tenacidad del CRFA 3D65/60BG, dosificación 20 kg/m³

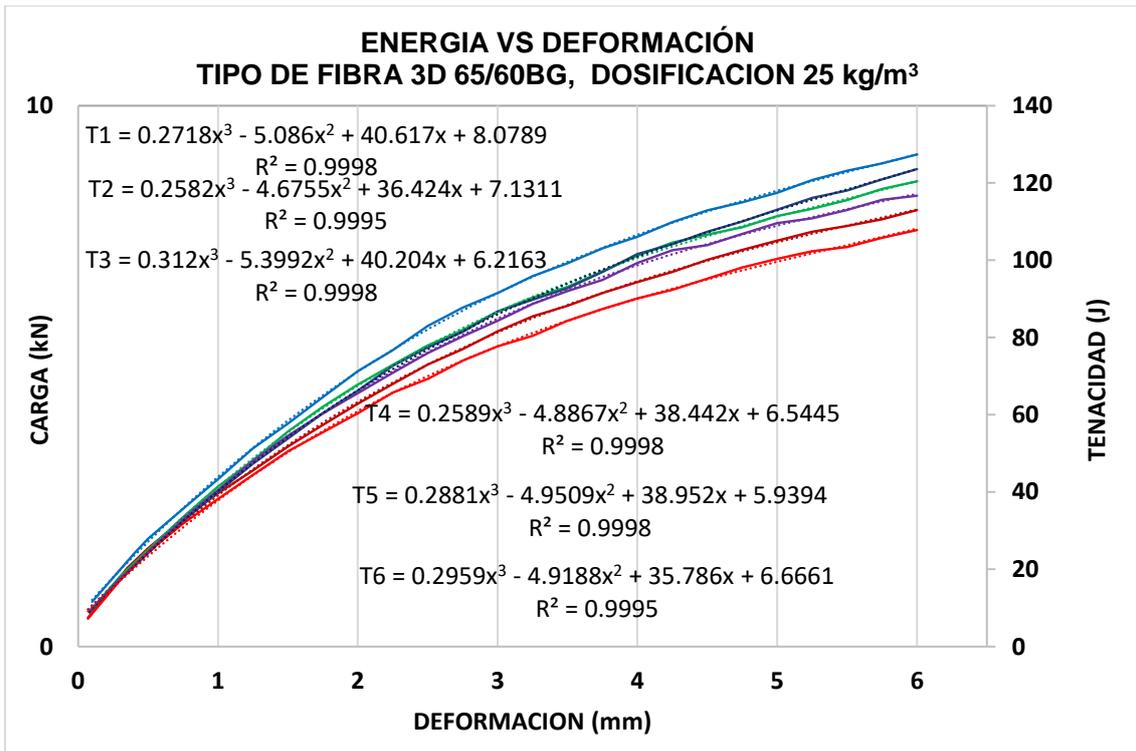


Figura 18–Tenacidad del CRFA 3D65/60BG, dosificación 25 kg/m³

Tipo de fibra 3D 80/60BG

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 17/10/2018

Fecha de ensayo: 14/11/2018

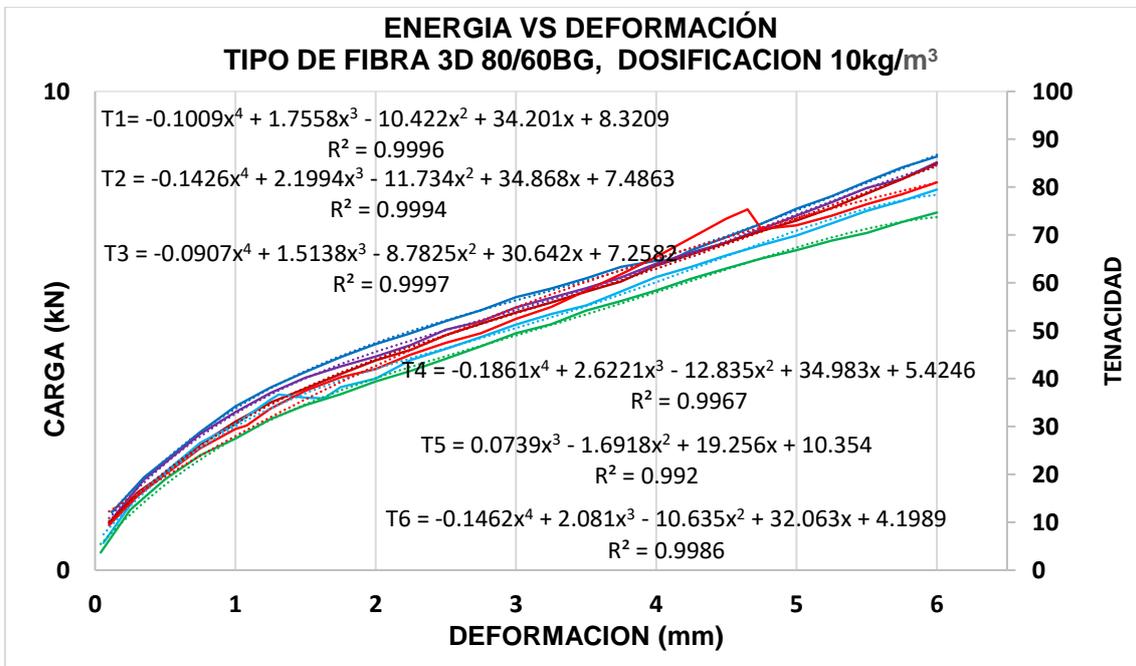


Figura 19–Tenacidad del CRFA 3D80/60BG, dosificación 10 kg/m³

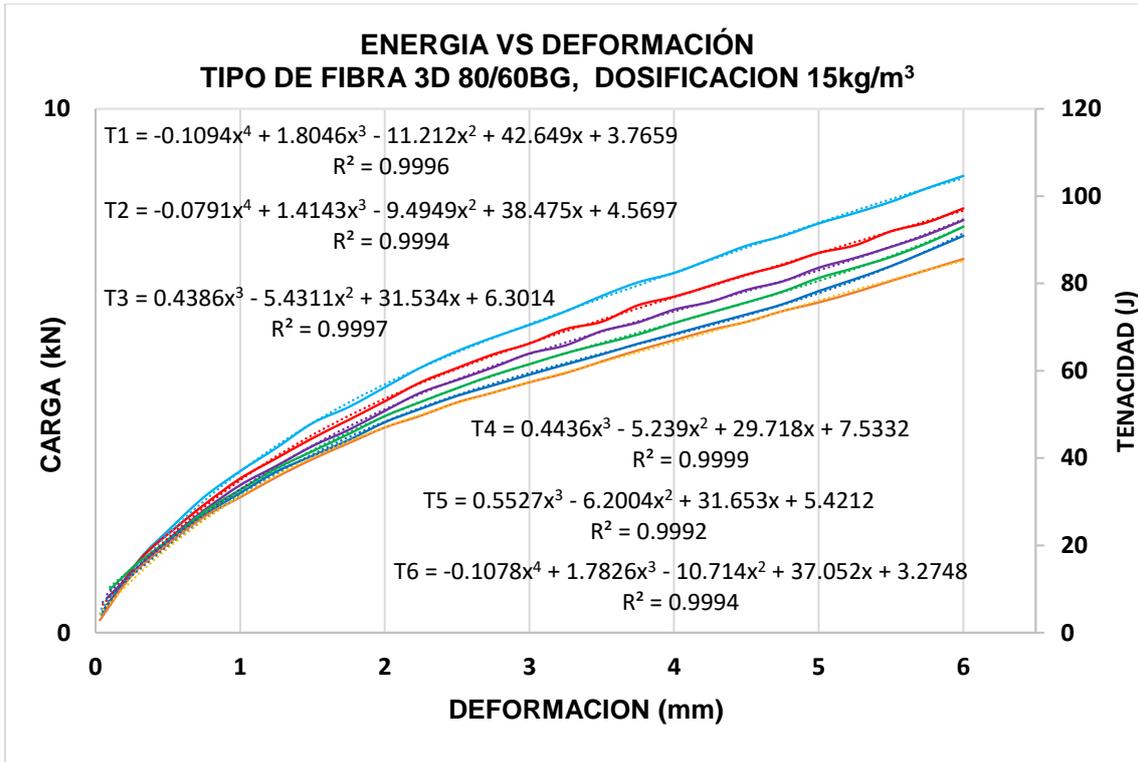


Figura 20–Tenacidad del CRFA 3D80/60BG, dosificación 15 kg/m³

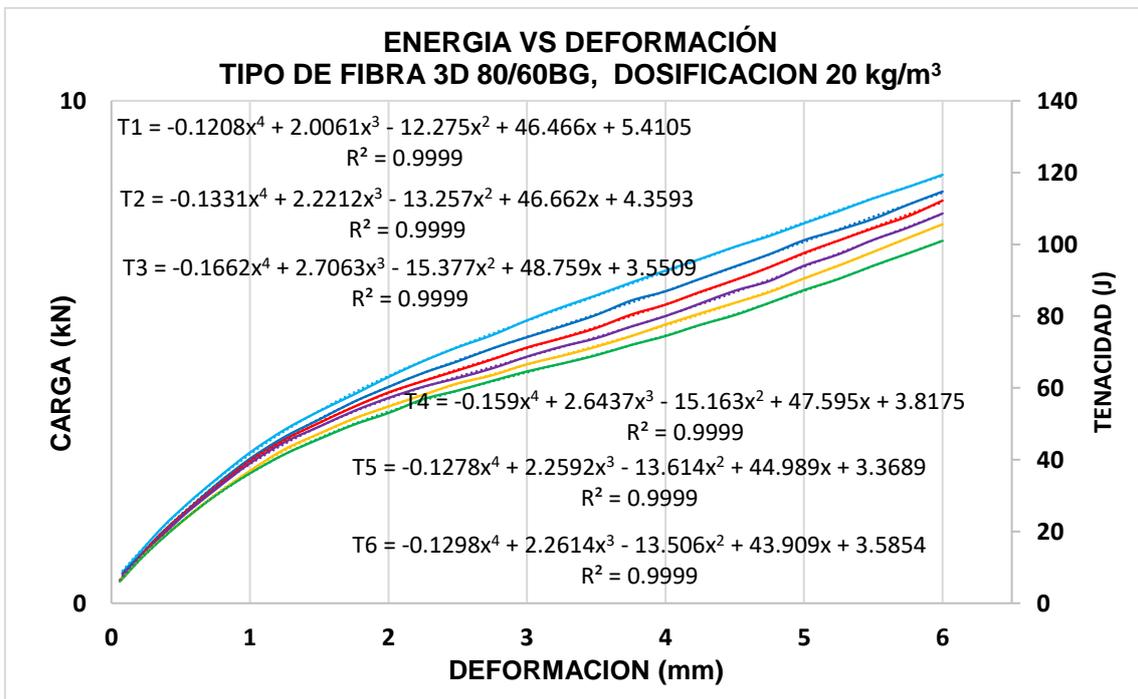


Figura 21–Tenacidad del CRFA 3D80/60BG, dosificación 20 kg/m³

Tipo de fibra 4D 55/60BG

f'c = 210 kg/cm²

Fecha de elaboración: 18/10/2018

Fecha de ensayo: 15/11/2018

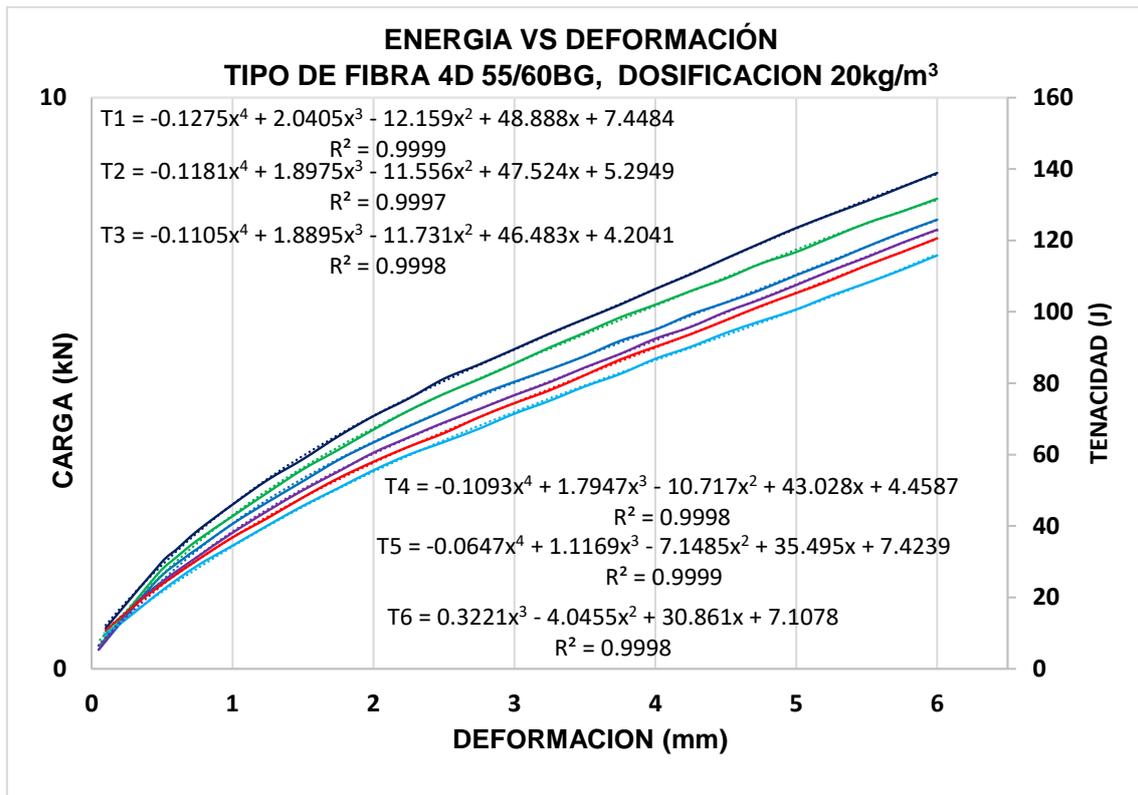


Figura 22–Tenacidad del CRFA 4D55/60BG, dosificación 20 kg/m³

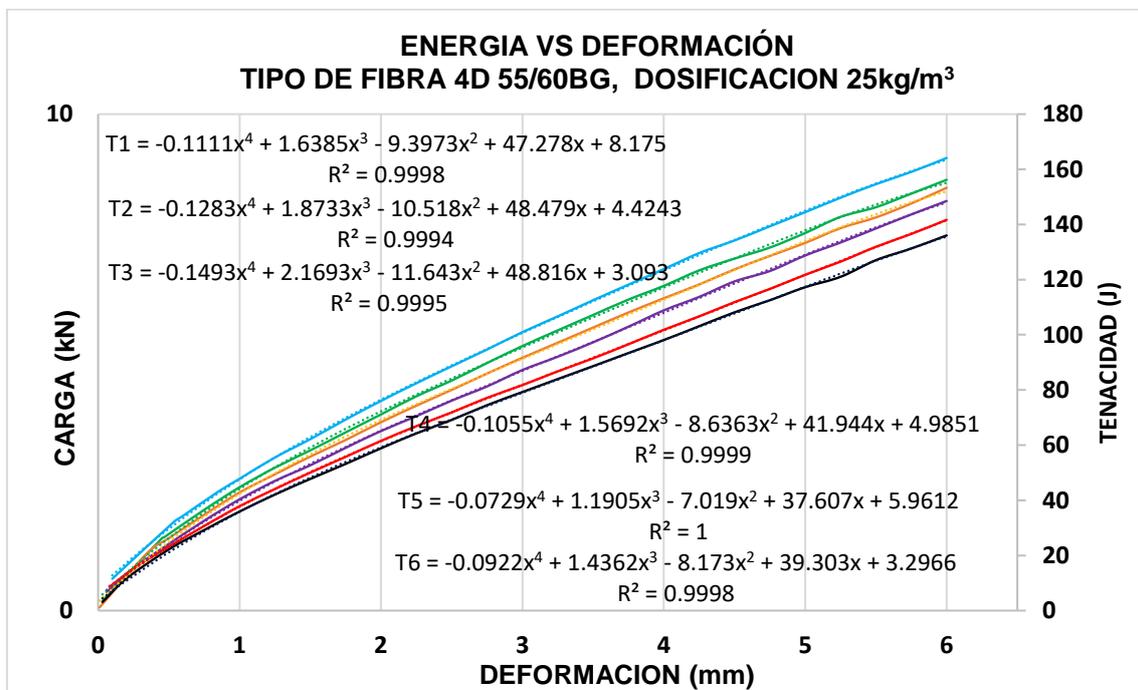


Figura 23–Tenacidad del CRFA 4D55/60BG, dosificación 25 kg/m³

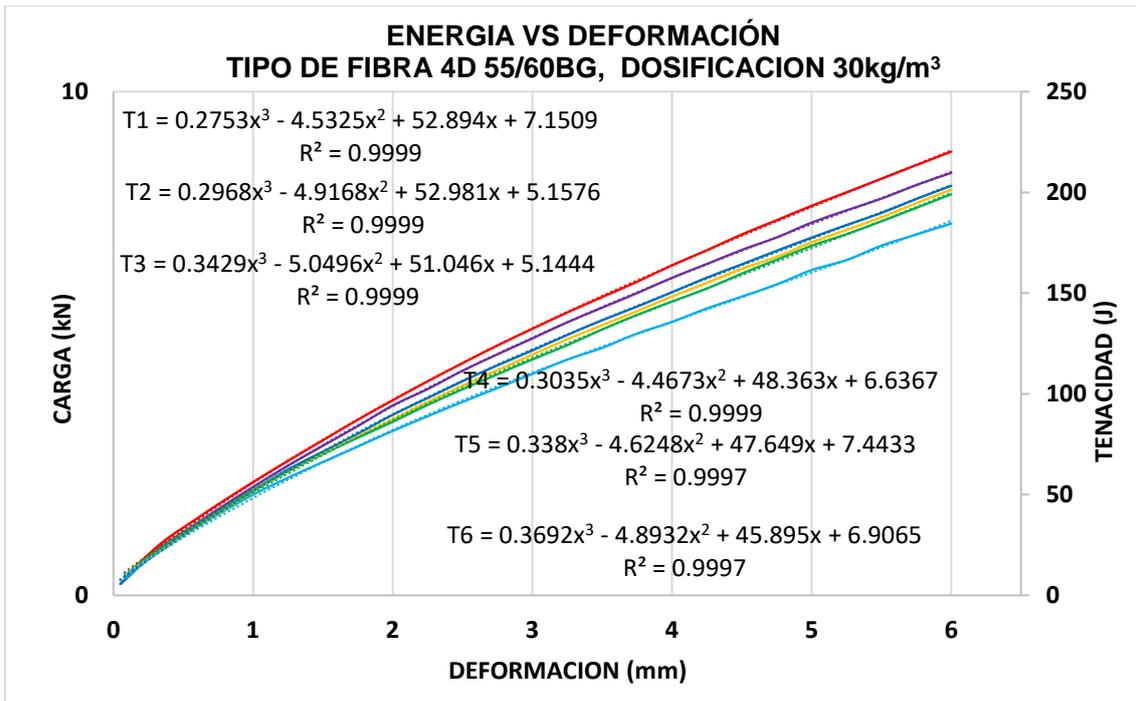


Figura 24–Tenacidad del CRFA 4D55/60BG, dosificación 30 kg/m³

Tipo de fibra 3D 45/35BL

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fecha de elaboración: 20/10/2018

Fecha de ensayo: 17/11/2018

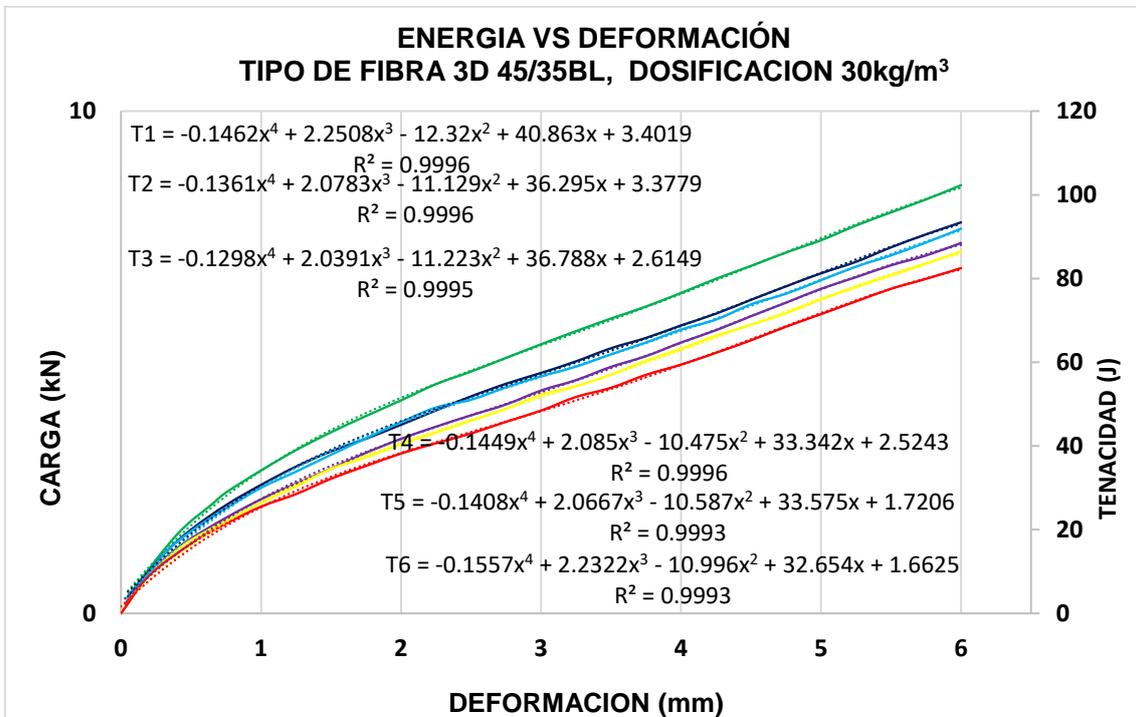


Figura 25–Tenacidad del CRFA 3D45/35BL, dosificación 30 kg/m³

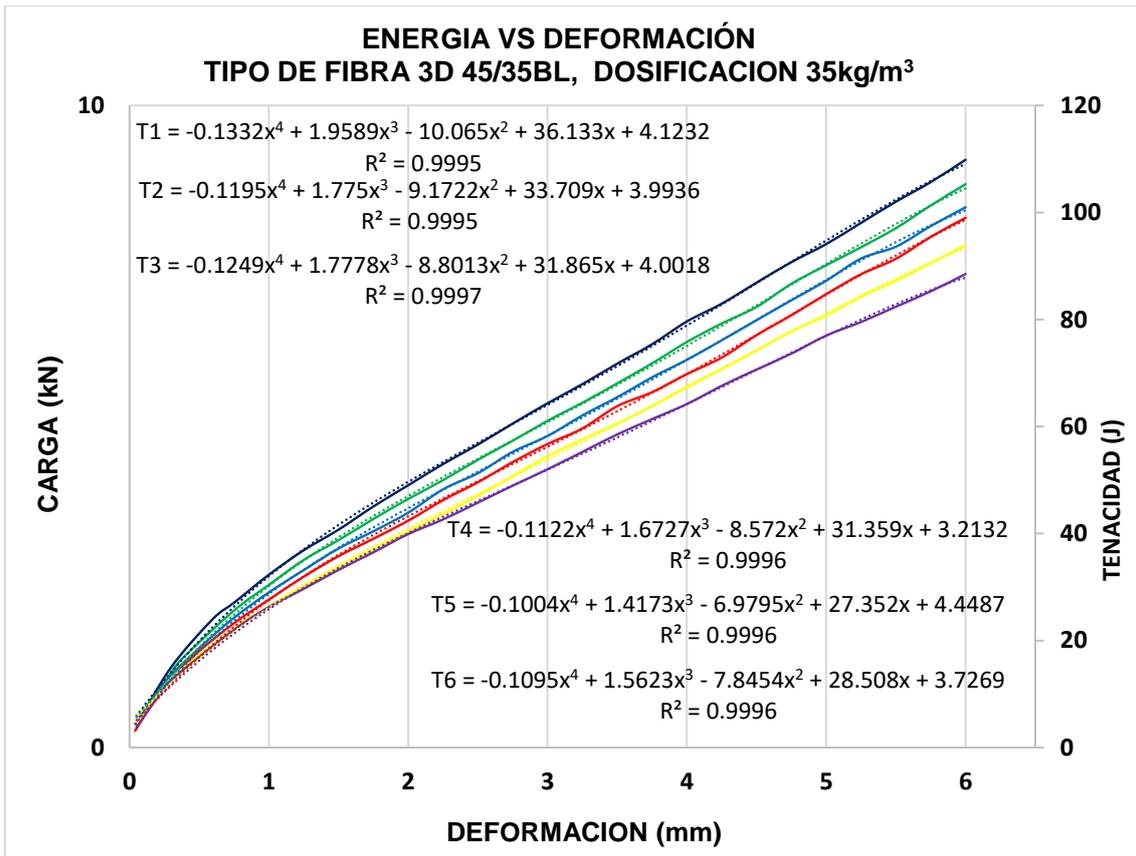


Figura 26–Tenacidad del CRFA 3D45/35BL, dosificación 35 kg/m³

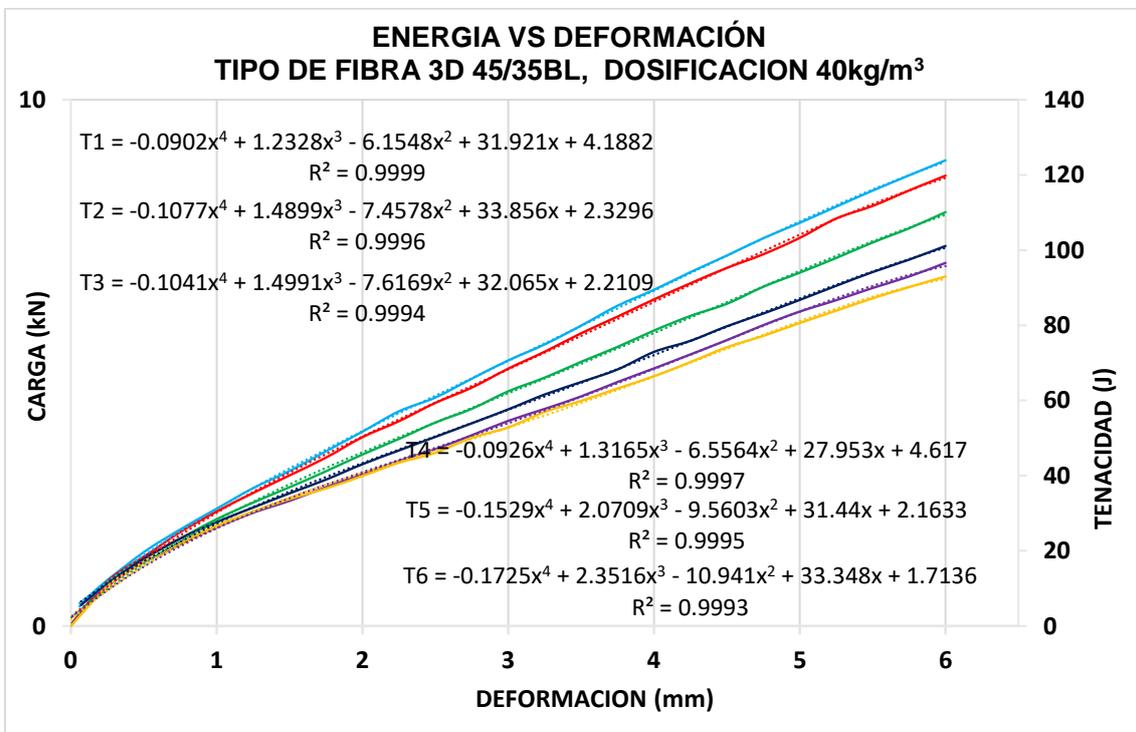


Figura 27–Tenacidad del CRFA 3D45/35BL, dosificación 40 kg/m³

ANEXO 04

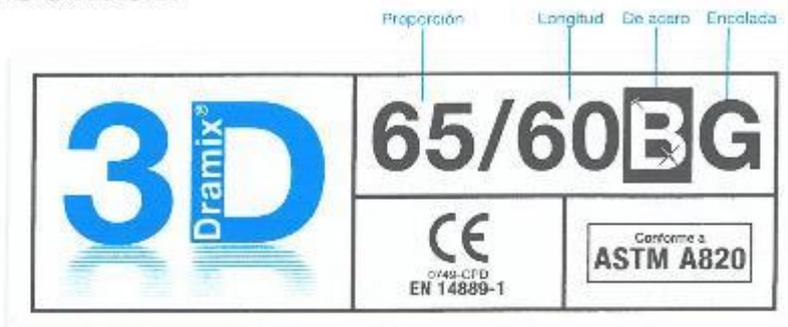
FICHAS TÉCNICAS DE FIBRAS DE ACERO 3D Y 4D

Dramix®

BEKAERT

better together

Ficha Técnica



DRAMIX® 3D



Dramix® 3D es la referencia en refuerzos con fibra de acero. Gracias a su combinación de rendimiento, durabilidad y fácil manejo, 3D es una solución eficiente para un gran número de utilidades y le permite ahorrar tiempo y dinero.

- > anclaje original
- > resistencia a la tracción

Dramix® 3D es una solución rentable para

- > pavimento
- > túneles
- > prefabricados
- > viviendas

Bekaert le ofrece todo el apoyo que necesita para su proyecto. Le ayudamos a elegir el tipo de fibra que más le conviene, la dosificación necesaria y el tipo de hormigón correcto. Póngase en contacto con su asesor local.

Visite www.bekaert.com/dosingdramix para conocer nuestras recomendaciones sobre manipulación, dosificación y mezcla.

Reservado el derecho a modificaciones. Todos los datos describen nuestros productos con carácter meramente general. Para una información más detallada, solicite las especificaciones técnicas de los productos.

RENDIMIENTO

Propiedades del material

Resistencia a la tracción:
 $R_{tracción}$: 1.180 N/mm²
 Tolerancias: ± 7,5% promedio
Módulo de Young: ± 210.000 N/mm²

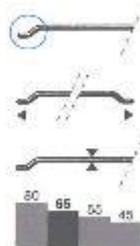
Geometría

Gama de fibras 3D

Longitud (l) 60 mm

Diámetro (d) 0,90 mm

Proporción (l/d) 65



Red de fibra

3,0 km por m² (para 15 kg/m²)
 3,183 Fibras/kg
Dosificación mínima:
 15 kg por m² (según la CE)

Gama Dramix®

5D 4D 3D

Resistencia a la tracción	5D	4D	3D
Ductilidad del alambre	5D	4D	3D
Fuerza de anclaje	5D	4D	3D

CERTIFICACIONES DEL PRODUCTO



Dramix® dispone del certificado para uso estructural conforme a la EN 14889-1 (sistema "1"). Si lo desea, puede solicitar información más detallada.

CERTIFICACIÓN DE SISTEMAS



Todas las plantas Industriales Dramix® cuentan con la certificación ISO 9001 e ISO 14001.

EMBALAJE



SACOS 20 kg

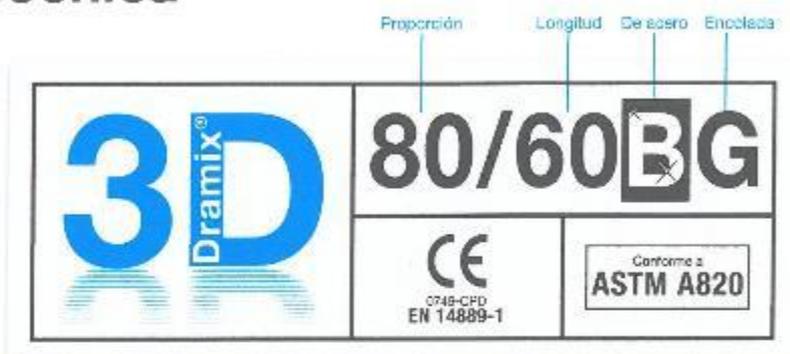
BIG BAG 1100 kg

ALMACENAJE



F1.02.05 - 16/01/20

Ficha Técnica



DRAMIX® 3D



Dramix® 3D es la referencia en refuerzos con fibra de acero. Gracias a su combinación de rendimiento, durabilidad y fácil manejo, 3D es una solución eficiente para un gran número de utilidades y le permite ahorrar tiempo y dinero.

- > anclaje original
- > resistencia a la tracción

Dramix® 3D es una solución rentable para

- > pavimento
- > túneles
- > prefabricados
- > viviendas

Bekaert le ofrece todo el apoyo que necesita para su proyecto. Le ayudamos a elegir el tipo de fibra que más le conviene, la dosificación necesaria y el tipo de hormigón correcto.

Póngase en contacto con su asesor local.

Visite www.bekaert.com/dosingdramix para conocer nuestras recomendaciones sobre manipulación, dosificación y mezcla.

Reservado el derecho a modificaciones. Todos los datos describen nuestros productos con carácter meramente general. Para una información más detallada, solicite las especificaciones técnicas de los productos.

RENDIMIENTO

Propiedades del material

Resistencia a la tracción:
 $R_{m,med}$: 1.225 N/mm²
 Tolerancias: ± 7,5% promedio
Módulo de Young: ± 210.000 N/mm²

Geometría

Gama de fibras	3D	
Longitud (l)	60 mm	
Diámetro (d)	0,75 mm	
Proporción (l/d)	80	

Red de fibra

2,9 km por m² (para 10 kg/m²)
 4.584 Fibras/kg
Dosificación mínima:
 10 kg por m² (según la CE)

Gama Dramix®

	3D	4D	3D
Resistencia a la tracción			
Ductilidad del alambre			
Fuerza de anclaje			

CERTIFICACIONES DEL PRODUCTO



Dramix® dispone del certificado para uso estructural conforme a la EN 14889-1 (sistema "1"). Si lo desea, puede solicitar información más detallada.

CERTIFICACIÓN DE SISTEMAS



Todas las plantas industriales Dramix® cuentan con la certificación ISO 9001 e ISO 14001.

EMBALAJE



SACOS 20 kg

BIG BAG 1100 kg

ALMACENAJE



Ficha Técnica

	Proporción 55/60	Longitud 60	De acero B	Encolada G
	0749-CPD EN 14889-1		Conforme a ASTM A820	

DRAMIX® 4D



La serie Dramix® 4D ha sido diseñada pensando en una durabilidad óptima. La resistencia a la tracción y el anclaje han sido diseñados específicamente para ser aplicados en fisuras de entre 0,1 y 0,3 mm, permitiéndole crear estructuras duraderas e impermeables. La serie 4D es también una solución perfecta para refuerzos combinados.

- > anclaje mejorado
- > alta proporción L/D, fibra encolada
- > alta resistencia a la tracción

Dramix® 4D es una solución rentable para aplicaciones de sLs

- > soleras sin imperfecciones
- > combistab (Dramix® 4D + enmallado)
- > hormigón bajo el agua
- > autopistas
- > pavimento para puertos

Bekaert le ofrece todo el apoyo que necesita para su proyecto. Le ayudamos a elegir el tipo de fibra que más le conviene, la dosificación necesaria y el tipo de hormigón correcto.

Póngase en contacto con su asesor local.

Visite www.bekaert.com/dosingdramix para conocer nuestras recomendaciones sobre manipulación, dosificación y mezcla.

Reservado el derecho a modificaciones. Todos los datos describen nuestros productos con carácter meramente general. Para una información más detallada, solicite las especificaciones técnicas de los productos.

RENDIMIENTO

Propiedades del material

Resistencia a la tracción:
 $R_{m,rand}$: 1.500 N/mm²
 Tolerancias: ± 7,5% promedio
Módulo de Young: ± 210.000 N/mm²

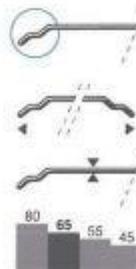
Geometría

Gama de fibras **4D**

Longitud (l) **60 mm**

Diámetro (d) **1,05 mm**

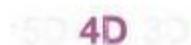
Proporción (l/d) **55**



Red de fibra

3,0 km por m² (para 20 kg/m²)
 2.339 Fibras/kg
Dosificación mínima:
 20kg por m² (según la CE)

Gama Dramix®



Resistencia a la tracción	
Ductilidad del alambre	
Fuerza de anclaje	

CERTIFICACIONES DEL PRODUCTO



Dramix® dispone del certificado para uso estructural conforme a la EN 14889-1 (sistema "1"). Si lo desea, puede solicitar información más detallada.

CERTIFICACIÓN DE SISTEMAS



Todas las plantas industriales Dramix® cuentan con la certificación ISO 9001 e ISO 14001.

EMBALAJE



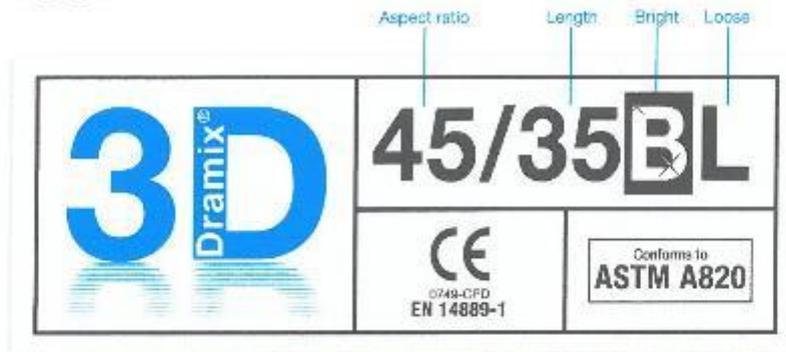
SACOS 20 kg

BIG BAG 1100 kg

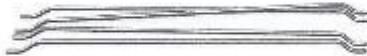
ALMACENAJE



Data Sheet



DRAMIX® 3D



Dramix® 3D is the reference in steel fibre reinforcement. Combining high performance, durability and ease-of-use, 3D provides you with a time-saving and cost-efficient solution for most common applications.

- > original anchorage
- > standard tensile strength

Dramix® 3D is a cost efficient solution for

- > flooring
- > tunnel applications
- > precast
- > residential applications

Bekaert supplies all of the support you need for your project. We help you determine the most suitable fibre types, calculate optimal dosages, select the right concrete quality. Contact your local support.

Go to www.bekaert.com/dosingdramix for our recommendations on handling, dosing and mixing.

Modifications reserved.
All details describe our products in general form only. For detailed information, product specifications available on request.

PERFORMANCE

Material properties

Tensile strength: $R_{m, min}$: 1.225 N/mm²
Tolerances: ± 7,5% Avg
Young's Modulus: ± 210.000 N/mm²

Geometry

Fibre family	3D	
Length (l)	35 mm	
Diameter (d)	0,75 mm	
Aspect ratio (l/d)	45	

Fibre network

8,7 km per m² (for 30 kg/m³)
7.814 fibres/kg

Dramix® range

	30	40	3D
Tensile strength			
Wire ductility			
Anchorage strength			

PRODUCT CERTIFICATES



Dramix® is certified for structural use according to EN 14889-1 (system '1'). Detailed information is available on request.

SYSTEM CERTIFICATES



All Dramix® plants are ISO 9001 and ISO 14001 certified.

PACKAGING



BAGS 10 kg
Pallet - 1000kg

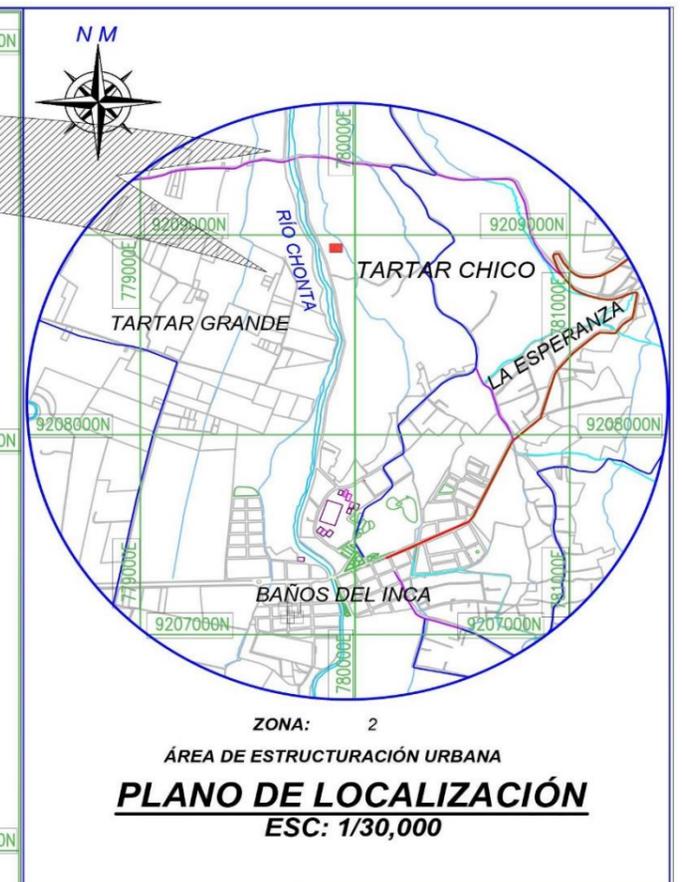
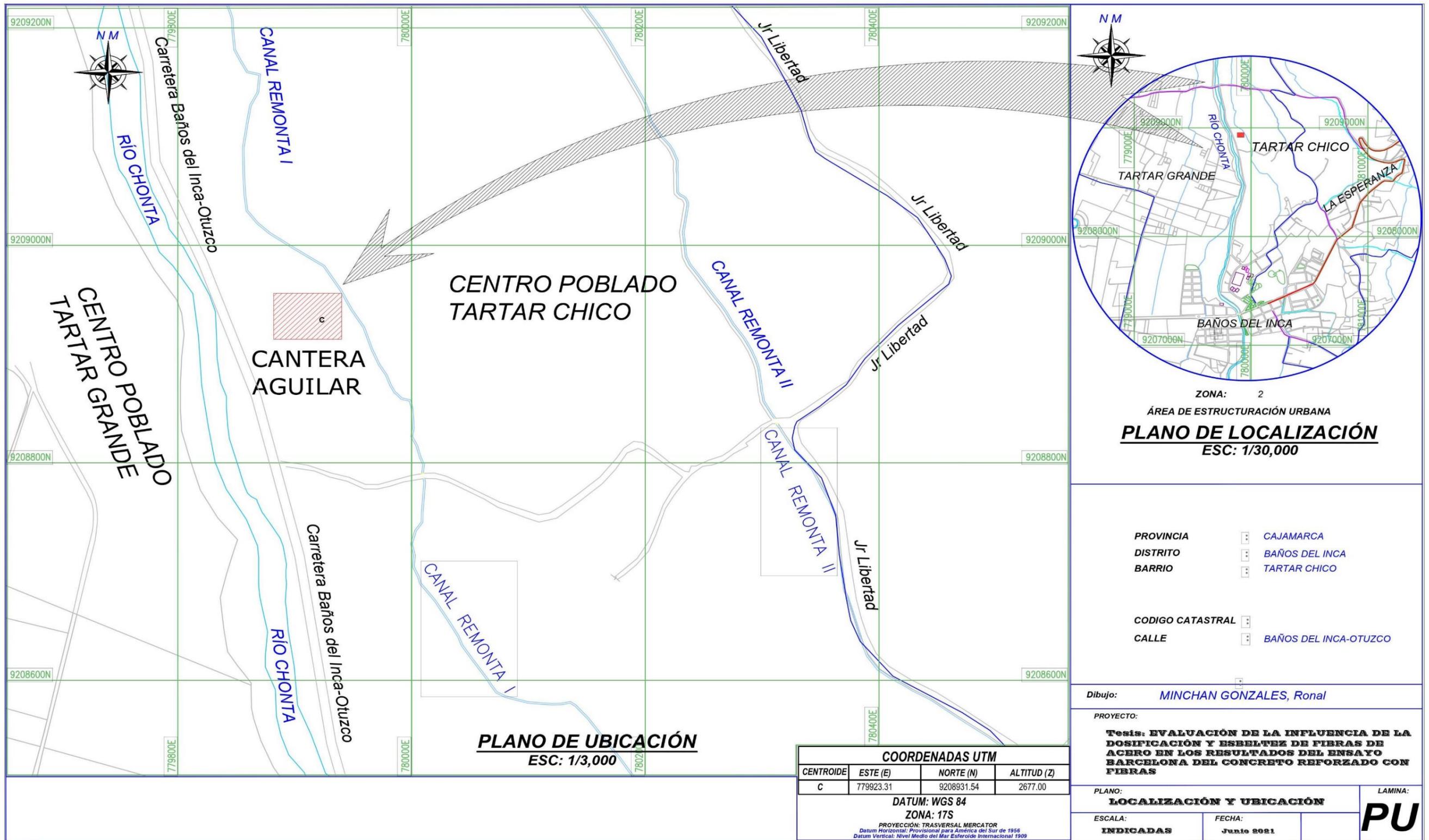
BIG BAG N/A

STORAGE



71_45206_00-2012

ANEXO 05
PLANO DE UBICACIÓN DE CANTERA



PROVINCIA : CAJAMARCA
 DISTRITO : BAÑOS DEL INCA
 BARRIO : TARTAR CHICO

CODIGO CATASTRAL :
 CALLE : BAÑOS DEL INCA-OTUZCO

Dibujo: *MINCHAN GONZALES, Ronal*

PROYECTO:
Tesis: EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN Y ESBELTEZ DE FIBRAS DE ACERO EN LOS RESULTADOS DEL ENSAYO BARCELONA DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

PLANO:
LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN

ESCALA: **INDICADAS**
 FECHA: **Junio 2021**

LAMINA:
PU

COORDENADAS UTM			
CENTROIDE	ESTE (E)	NORTE (N)	ALTITUD (Z)
C	779923.31	9208931.54	2677.00
DATUM: WGS 84 ZONA: 17S PROYECCIÓN: TRASVERSAL MERCATOR Datum Horizontal: Provisional para América del Sur de 1956 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Esteroide Internacional 1909			

ANEXO 06 FIGURAS

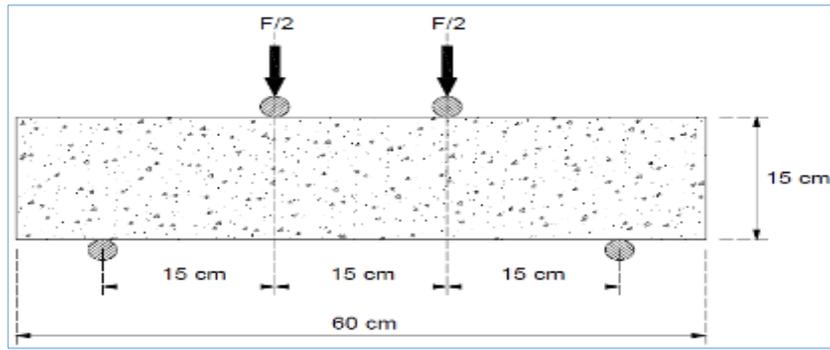


Figura 28–Características del ensayo belga (fuente: NBN B 15-238).

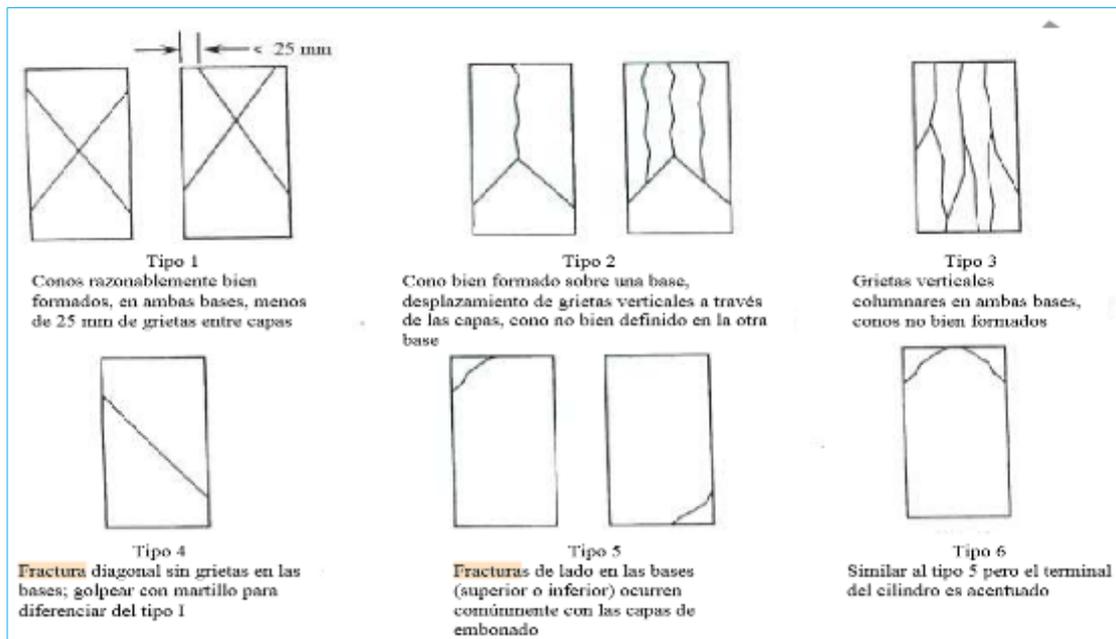


Figura 29–Esquema de tipos de fractura (fuente: NTP 339.034:2015)

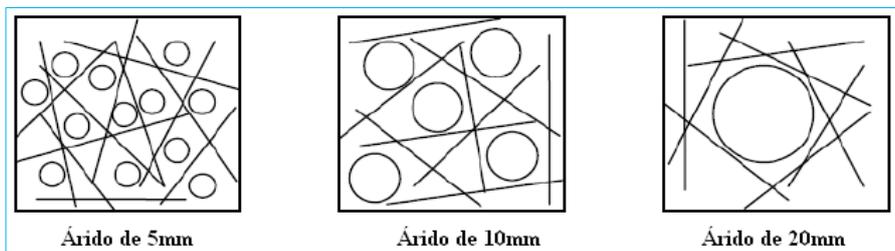


Figura 30–Efecto del tamaño del agregado en la distribución de fibras de 40 mm de longitud (fuente: Hannant, 1978)

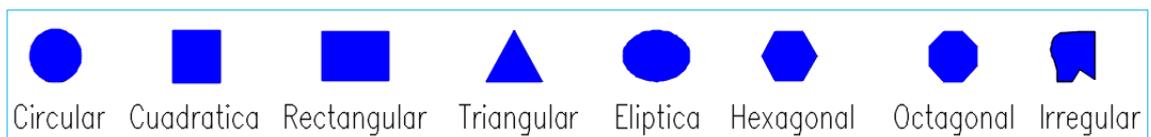


Figura 31–Sección de las fibras más comunes (fuente: elaboración propia)

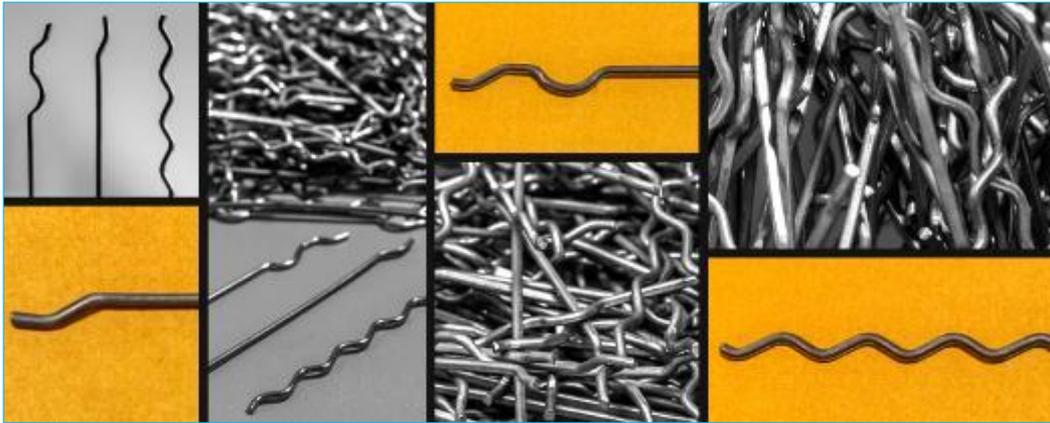


Figura 32–Geometría de las fibras (fuente: Fibro Metals, Rumania).



Figura 33–Fibra de acero Dramix con extremos conformados en 3D (fuente: Prodac - Bekaert)



Figura 34– Fibra de acero Dramix con extremos conformados en 4D (fuente: Prodac - Bekaert)

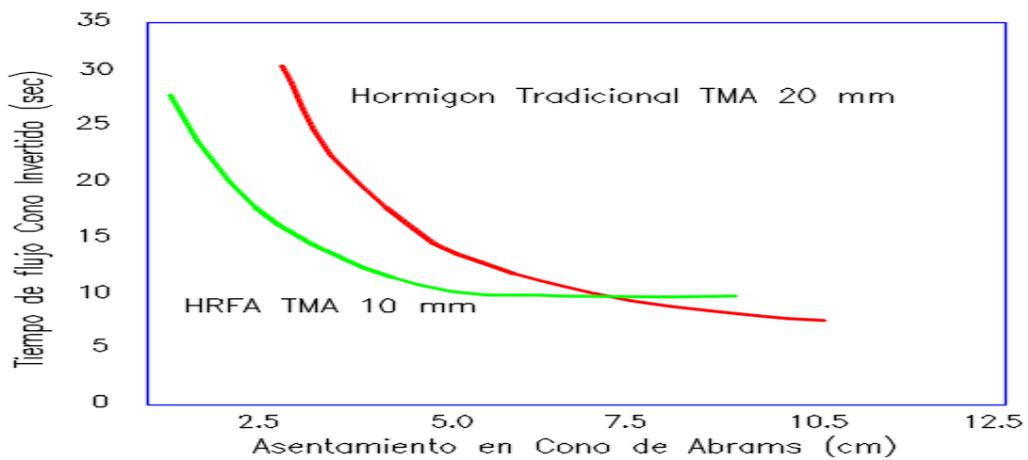


Figura 35–Relación de valores de Cono de Abrams y Cono Invertido (ACHE, 2000).

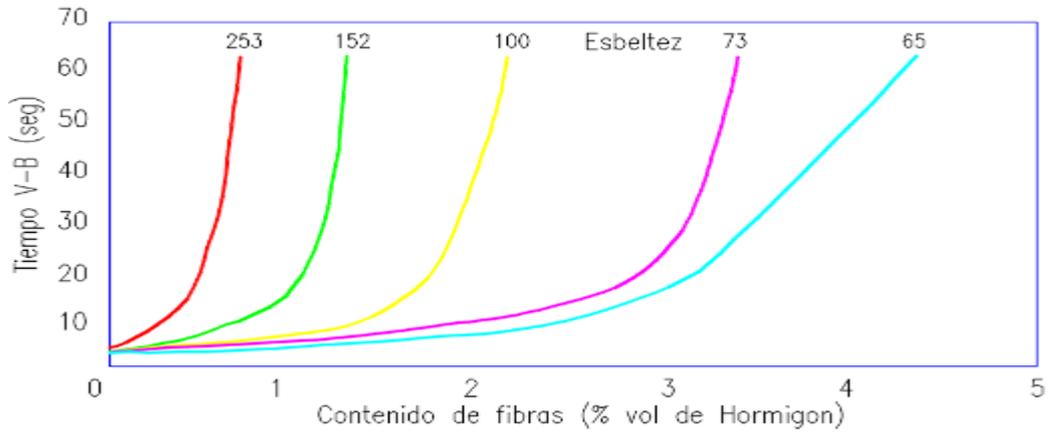


Figura 36–Efecto de la esbeltez de las fibras en la consistencia del concreto evaluada con el Consistómetro VeBe (Hannant, 1978).

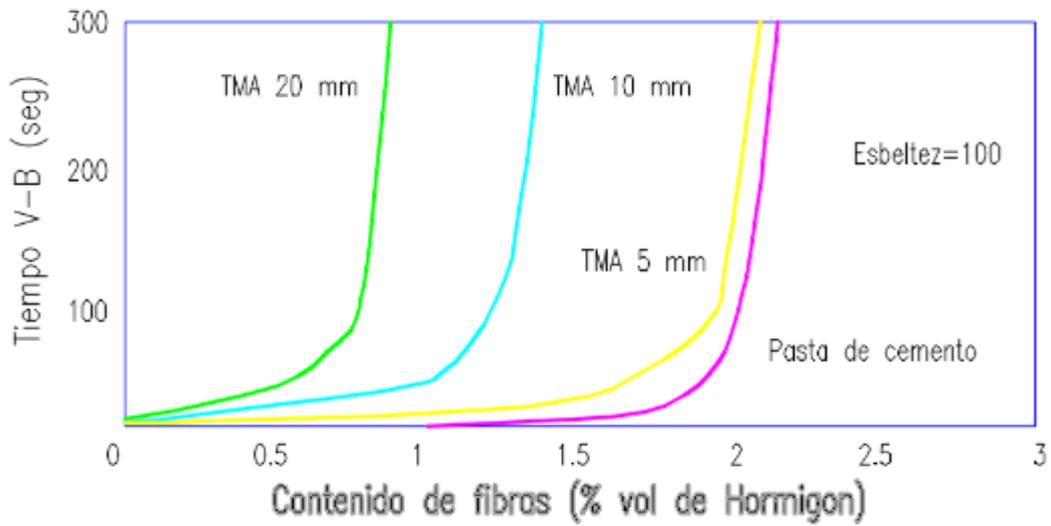


Figura 37–Influencia del tamaño máximo de agregado en la consistencia del concreto

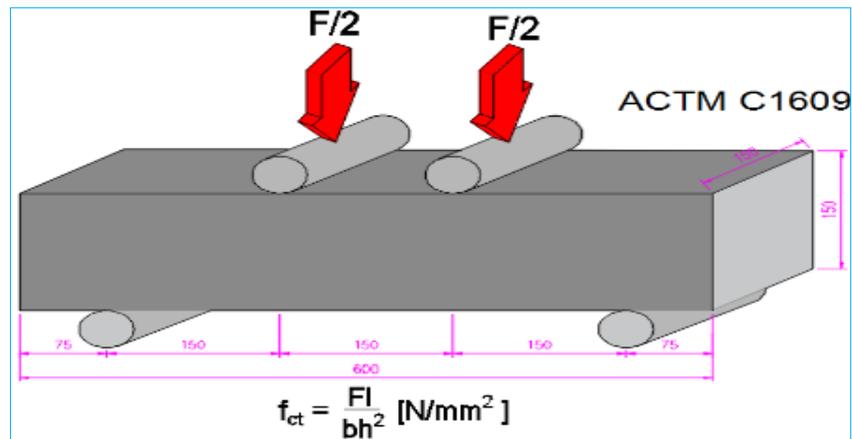


Figura 38–Ensayo a flexotracción con cargas a los tercios de la luz libre (ASTM C1609)

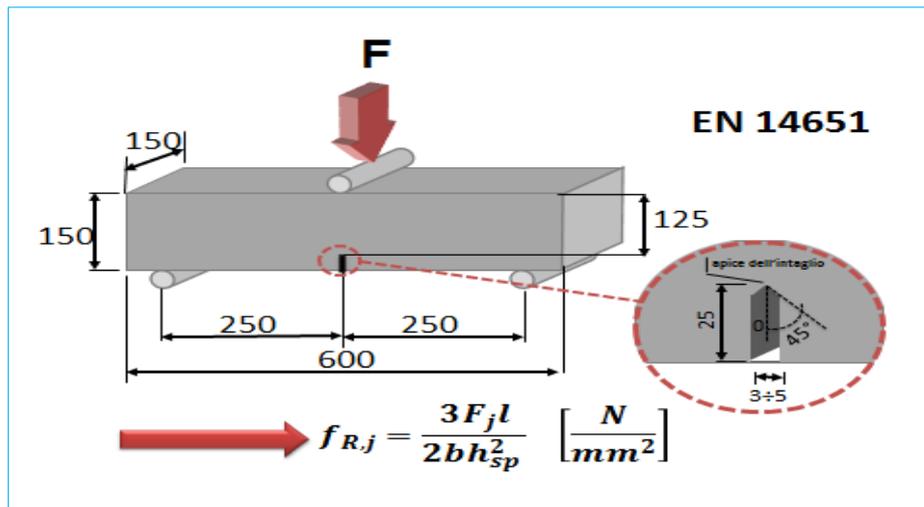


Figura 39–Ensayo 3point Bending Test (UNE-EN 14651)

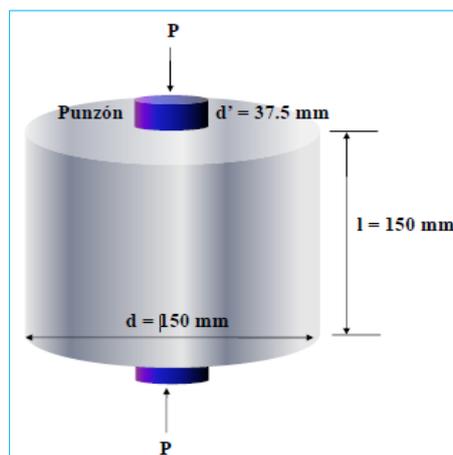
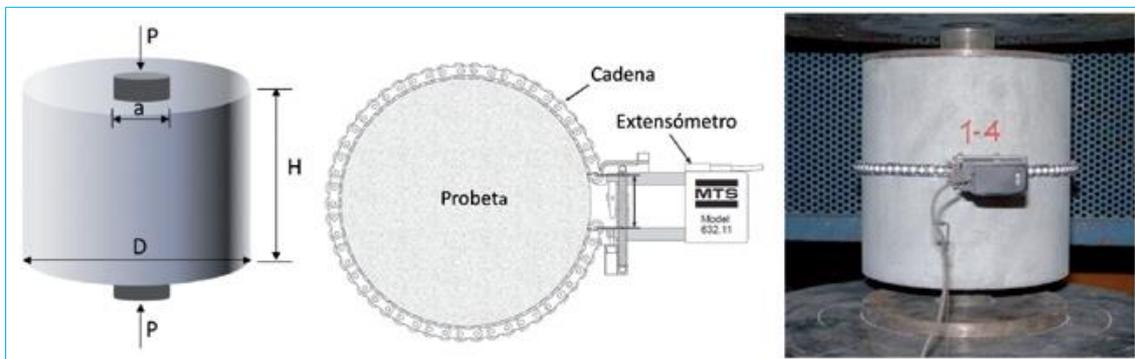


Figura 40–Configuración del ensayo Barcelona (Aire C et al. 2013).



Figura 41–Configuración del ensayo Barcelona y modo de falla (Aire C et al. 2013).

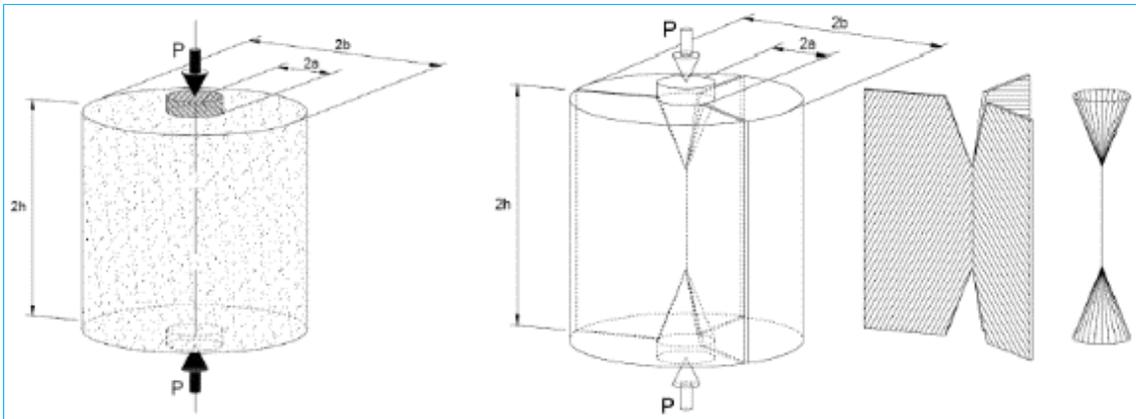


Figura 42–Esquema de ensayo y mecanismo de falla (Saludes, 2006)

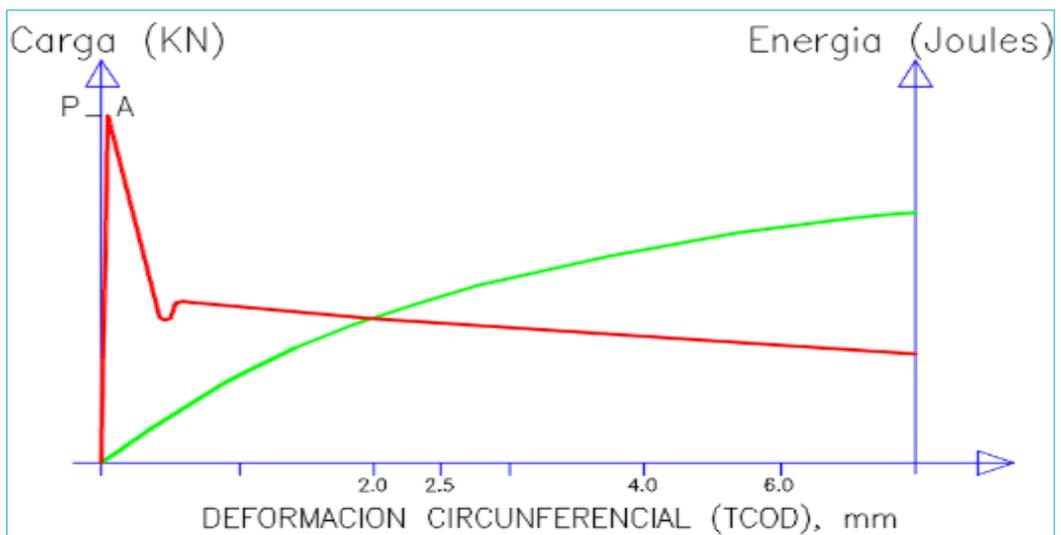


Figura 43–Diagramas de carga y energía–deformación circunferencial, UNE 83515

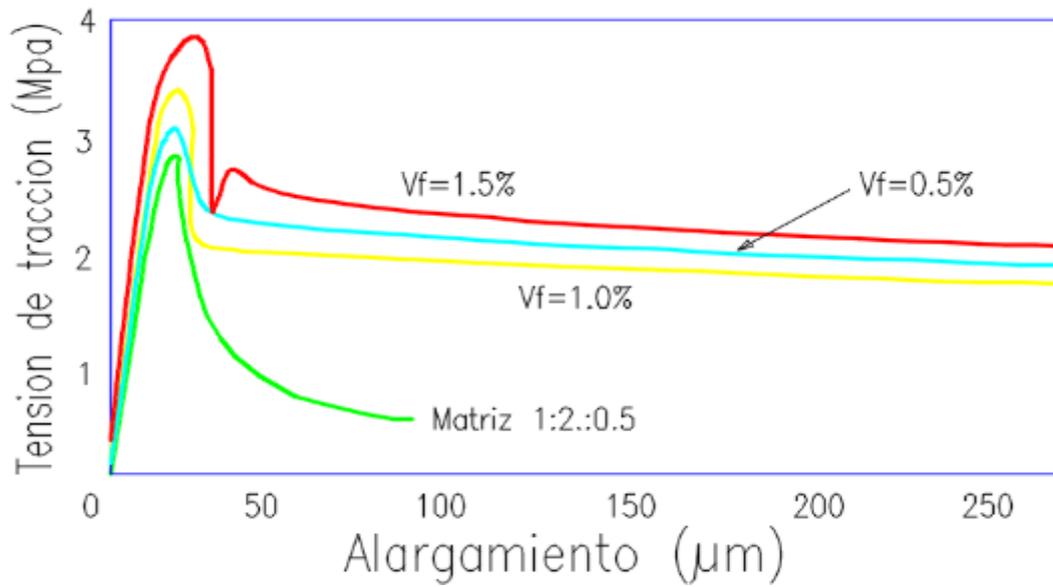


Figura 44–Curvas tracción-deformación de morteros a tracción directa. (ACI 544.1R-96, 2009).

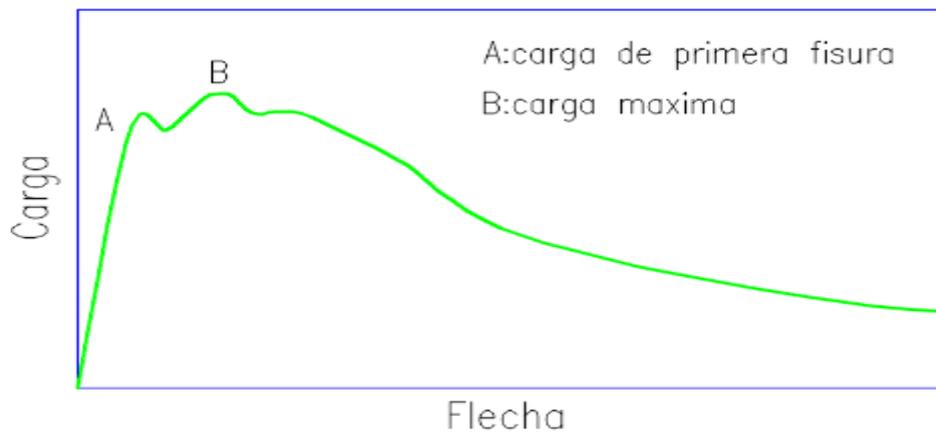


Figura 45–Curva carga-flecha a flexotracción para un CRFA (ACHE 2000)

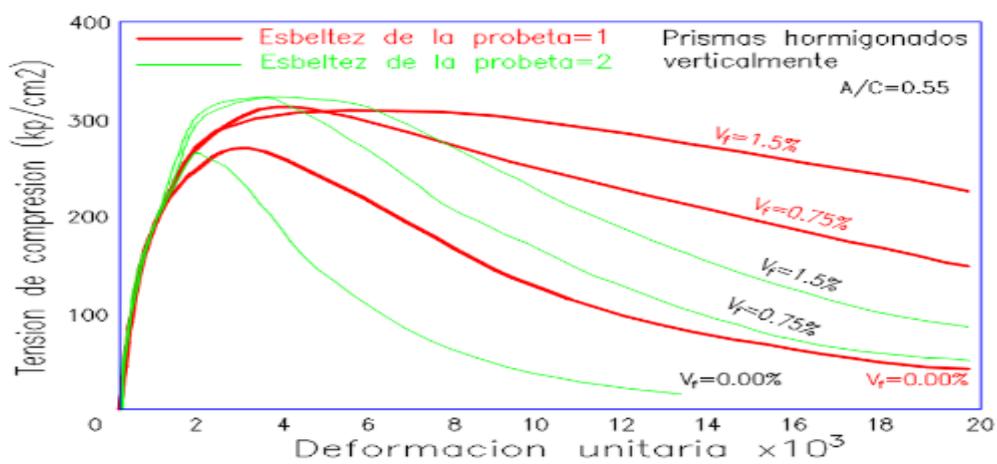


Figura 46–Respuesta a compresión simple de CRFA con diferentes Vf y diferente esbeltez de probeta (ACHE, 2000).

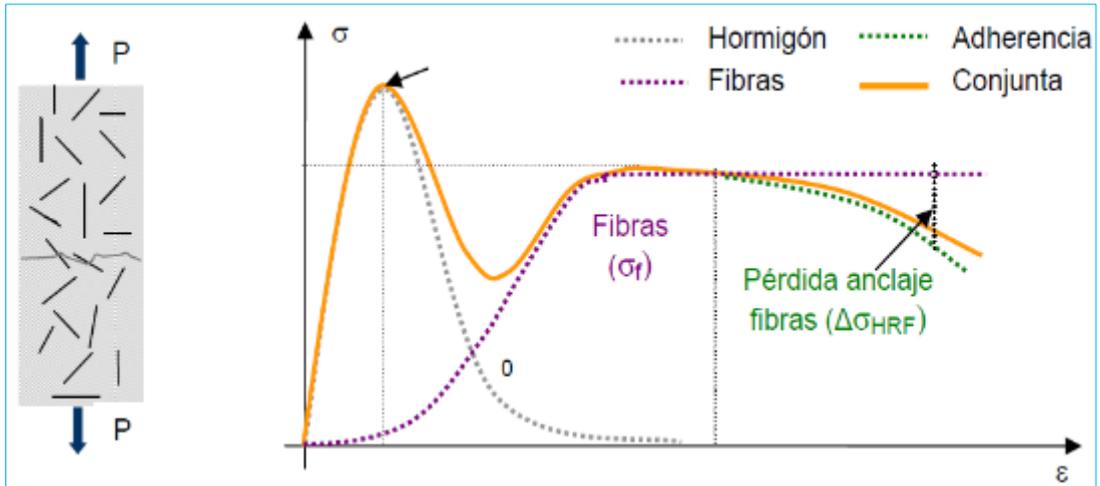


Figura 47–Elemento de CRF sometido a tracción o flexotracción. Forma de la ecuación constitutiva (Coto Roquet, L.A: 2007)



Figura 48– patio norte Sinchi Roca (patio de maniobras del bus metropolitano) (Fuente: Dura, 2010)



Figura 49– construcción de planta metalmecánica IMECON (fuente: Imecon)



Figura 50–Base militar cerro Muriano (fuente: Bekaert)

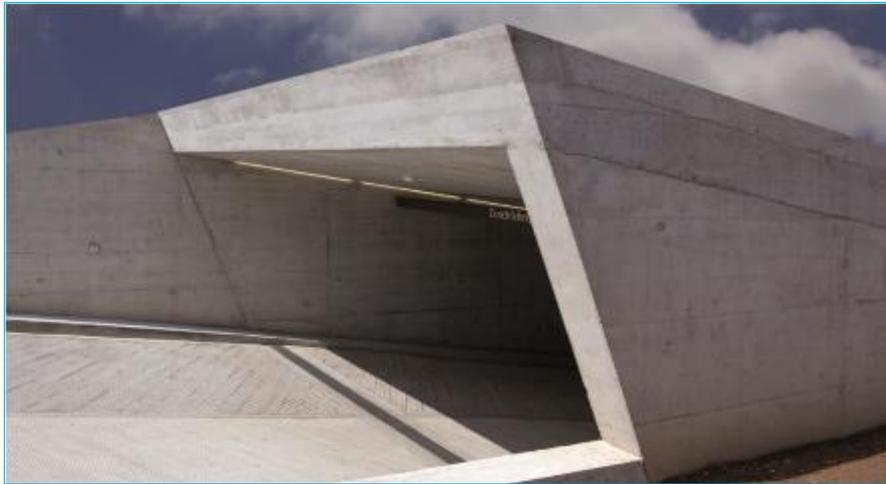


Figura 51– CRFA resistente a explosiones (fuente: Sika Perú S.A.)



Figura 52– CRF aplicación en túneles (fuente: Sika Perú S.A.)



Figura 53–Paneles prefabricados de CRFA para viviendas (fuente: Sika Perú S.A)



Figura 54–Dovelas prefabricadas de CRF para túneles (fuente: Acimex Francia)



Figura 55– Oceanográfico de valencia (fuente: Oceanográfic en valencia)



Figura 56 –Tubos y arquetas prefabricados (fuente: HV, S.L España)



Figura 57–Proceso de resistencia del concreto al fuego (fuente: Bianchini ingeniero SA)

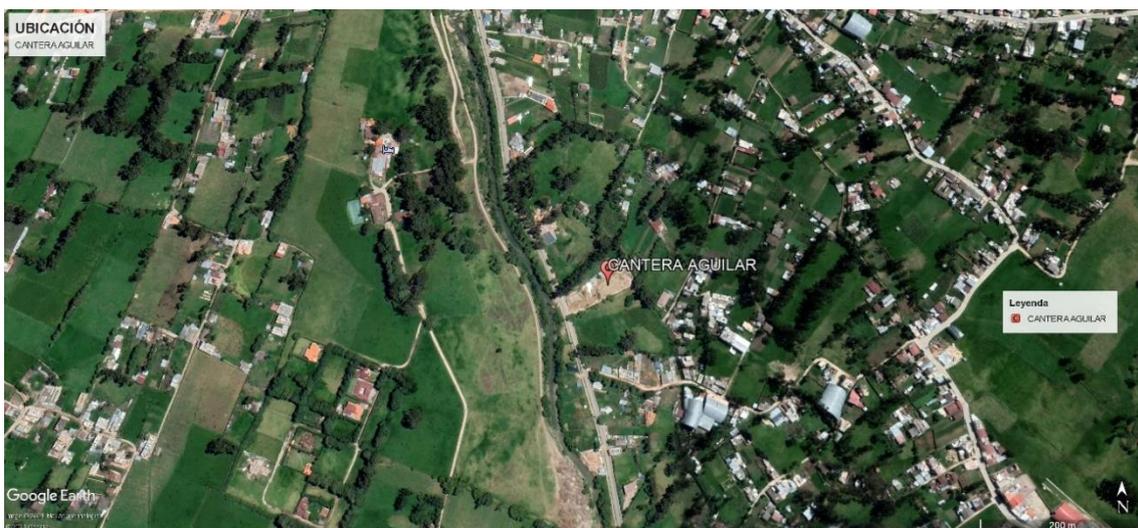


Figura 58–Ubicación de la cantera Aguilar, rio chonta (fuente: Google Earth)



Figura 59–Agregado Fino y Grueso de la cantera rio chonta (fuente propia)



Figura 60– Fibras de acero Dramix 3D65/60BG y 4D55/60BG, encoladas en peines (fuente propia)



Figura 61–Fibras de acero Dramix 3D45/35BL y 3D80/60BG, sueltas y encoladas en peines



Figura 62–Extensómetro confeccionado de acero, ensablaje para el ensayo (fuente propia)



Figura 63–Comparador digital (fuente propia)



Figura 64–Soporte magnético (fuente propia)

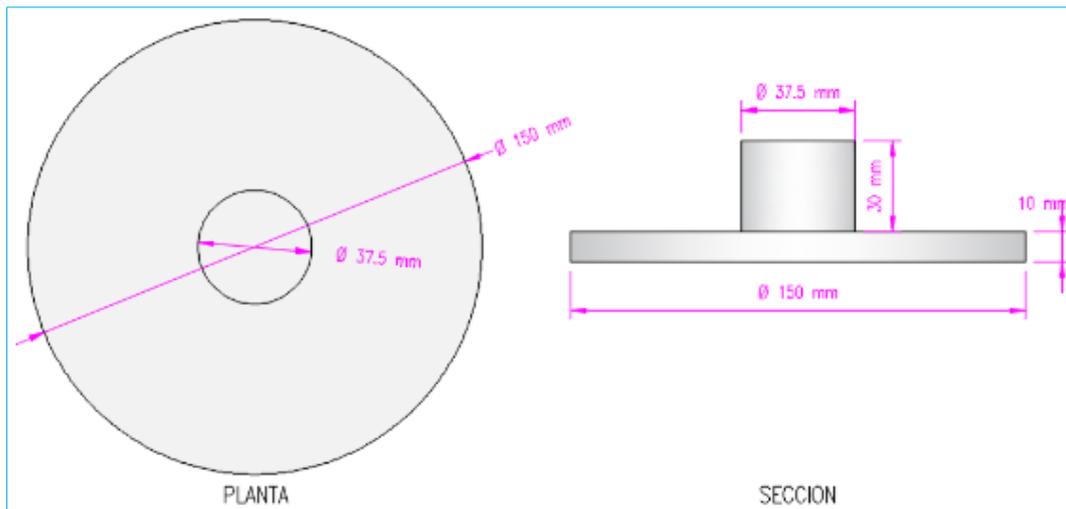


Figura 65–Dimensiones de los punzones elaborados (fuente propia)



Figura 66–Punzones elaborados de acero (fuente propia)



Figura 67–Cono de Abrams (fuente ASTM C 143)

ANEXO 07 PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 68–Determinación de las propiedades físico mecánicas del agregado Fino y Grueso.



Figura 69–Ensayo de consistencia del CRFA, probetas elaboradas de CRFA de 15x30 y 15x15 cm.



Figura 70–Probetas de CRFA de 30x15 y 15x15 cm, configuración del ensayo Barcelona.



Figura 71–Ensayo Barcelona del concreto reforzado con fibras de acero (CRFA)



Figura 72–Fractura tipo V en los ensayos a compresión axial del CRFA



Figura 73–Formación de fallas cónicas y fisuras radiales en el ensayo Barcelona



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



EL JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA:

CONSTANCIA

Que el Sr. **MINCHAN GONZALES, RONAL ALEJANDRO**. Ex alumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca; **que ha realizado trabajos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz” de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca**, para la Tesis Titulada: **“EVALUACIÓN DE INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN Y ESBELTEZ DE LAS FIBRAS DE ACERO EN LOS RESULTADOS DEL ENSAYO BARCELONA DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS ”**. Se procedió con la prueba de especímenes los días 14, 17 y 18 de diciembre de 2018, en dicha institución.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 06 de noviembre de 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA


Ing. Mauro Constanza Vargas
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CONSTANCIA

El laboratorio de estudio de mecánica de suelos, concreto y pavimentos GUERSAN, hace constar que el sr. **MINCHAN GONZALES, RONAL**. Ha realizado los ensayos de compresión axial y ensayo Barcelona de la tesis titulada **"EVALUACIÓN DE INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN Y ESBELTEZ DE LAS FIBRAS DE ACERO EN LOS RESULTADOS DEL ENSAYO BARCELONA DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS**, los mismos se realizaron en las siguientes fechas, 12, 23, 30, de octubre y 14,15, 16 y 17 de noviembre de 2018

Se expide el presente para los fines que se crea conveniente

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.


Leticia Guerrero González
GERENTE GENERAL

Cajamarca diciembre de 2018