



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE
HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO /
POLIETILENO”**

AUTOR: Roger Ricardo Mera Ortiz

TUTOR: Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera

AMBATO - ECUADOR

Enero - 2023

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO”**, elaborado por el Sr. **Roger Ricardo Mera Ortiz**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805176359, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2023



Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Roger Ricardo Mera Ortiz**, con C.I. 1805176359 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2023



Roger Ricardo Mera Ortiz

C.I. 1805176359

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2023



Roger Ricardo Mera Ortiz

C.I. 1805176359

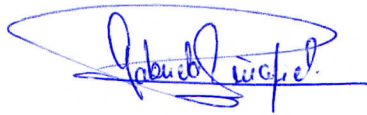
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

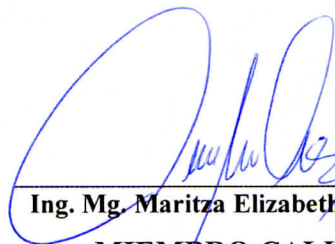
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Roger Ricardo Mera Ortiz, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO”**

Ambato, enero 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme en el proceso, dejándome saber que nunca estaré solo.

A mis padres y ñaña, por apoyarme con sus consejos y prepararme para vivir.

A mi abuelita, y la memoria de mi abuelito, por ser parte de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato, que gracias a sus docentes, han aportado en mi formación profesional con sus conocimientos.

y personal.

A mi tutor, Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera por aportar sus conocimientos y ayuda en la realización del presente trabajo

A mis amigos y amigas, gracias por haber sido parte de mi vida estudiantil.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	2
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	3
1.1.3.1 El Hormigón y sus componentes.....	3
1.1.3.1.1 Hormigón	3
1.1.3.1.2 Cemento	3
1.1.3.1.3 Agregado Grueso	4
1.1.3.1.4 Agregado Fino.....	4
1.1.3.1.5 Agua	4
1.1.3.2 Hormigón reforzado con fibras	5
1.1.3.2.1 Orientación de Fibras	7

1.1.3.2.2	Efecto pared	9
1.1.3.2.3	Energía de rotura	10
1.1.3.2.3	Aplicaciones del hormigón reforzado con fibras	10
1.1.3.3	Tipos de Fibras	14
1.1.3.3.1	Según su función	14
1.1.3.3.2	Por su naturaleza	14
1.1.3.4	Fibras utilizadas	16
1.1.3.5	Ensayo empleado	17
1.1.4	Hipótesis.....	20
1.2	Objetivos	20
1.2.1	Objetivo General	20
1.2.2	Objetivos Específicos.....	20
CAPÍTULO II.		21
METODOLOGÍA		21
2.1	Materiales y Equipos.....	21
2.1.1	Materiales.....	21
2.1.2	Equipos.....	22
2.2	Metodología	24
2.2.1	Nivel o Tipo de Investigación	24
2.2.1.1	Exploratorio.....	24
2.2.1.2	Descriptivo	24
2.2.2	Población y Muestra.....	24
2.2.3	Plan de recolección de datos	25
2.2.3.1	Adquisición de materiales	25
2.2.3.2	Ensayos de caracterización de agregados	25
2.2.3.3	Dosificación de la mezcla.....	26
2.2.3.3	Elaboración de probetas	27

2.2.4	Plan de procesamiento y Análisis de la información	29
2.3	Campaña experimental.....	29
2.3.1	Propiedades de los agregados.....	29
2.3.1.1	Densidad real del cemento	29
2.3.1.2	Análisis granulométrico	29
2.3.1.3	Densidad aparente suelta y compactada.....	30
2.3.1.4	Densidad real y capacidad de absorción	31
2.3.1.5	Densidad aparente compactada de la mezcla	31
2.3.1.6	Resumen de las propiedades de los agregados.....	31
2.3.2	Dosificación	32
2.3.3	Generalidades del ensayo.....	33
CAPÍTULO III	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
3.1	Comportamiento a flexión.....	36
3.1.1	Hormigón sin fibras.....	36
3.1.2	Hormigón reforzado con fibra.....	40
3.1.2.1	Dosificación de 3kg/m ³ de fibra.....	40
3.1.2.1	Dosificación de 6kg/m ³ de fibra.....	44
3.1.3	Comparación de la fracción volumétrica en el comportamiento del hormigón	48
3.2	Energía de fractura	51
3.3	Conteo de fibras	53
3.3.1	Coefficiente de orientación (Zona A).....	57
3.3.2	Coefficiente de orientación (Zona B).....	57
3.3.3	Coefficiente de orientación (Zona C).....	58
3.3.4	Coefficiente de orientación (Zona D).....	58
3.3.5	Coefficiente de orientación (Zona E)	59

3.3.6	Coeficiente de orientación (Zona F)	59
3.3.7	Resumen del coeficiente de orientación en el plano de fractura	60
3.4	Comportamiento a compresión	62
CAPÍTULO IV		64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		64
4.1.	Conclusiones	64
4.2.	Recomendaciones.....	65
BIBLIOGRAFÍA.....		66
ANEXOS.....		70
Anexo 1.	Densidad real del cemento.....	70
Anexo 2.	Análisis granulométrico del agregado fino.....	71
Anexo 3.	Análisis granulométrico del agregado grueso	72
Anexo 4.	Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado fino	73
Anexo 5.	Densidad real y Capacidad de absorción del agregado grueso.....	74
Anexo 6.	Peso unitario suelto y compactado de los agregados.....	75
Anexo 7.	Densidad aparente compactada de la mezcla	76
Anexo 8.	Dosificación por el método de la densidad óptima	77
Anexo 9.	Dosificación para probetas de 0 kg/m ³ de fibra.....	78
Anexo 10.	Dosificación para probetas de 3 kg/m ³ de fibra.....	79
Anexo 11.	Dosificación para probetas de 6 kg/m ³ de fibra.....	80
Anexo 12.	Reporte del ensayo a flexión (ASTM 1609).....	81
Anexo 13.	Resultados del conteo de fibras	108
Anexo 14.	Anexo Fotográfico.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Detalles Técnicos (Fibras TUF – STRAND SF)	16
Tabla 2. Velocidad de ensayo ASTM C 1609 (in).....	18
Tabla 3. Velocidad de ensayo ASTM C 1609 (mm).....	18
Tabla 4. Probetas a elaborarse.....	24
Tabla 5. Relación agua/cemento (W/C).....	26
Tabla 6. Cantidad de Pasta (CP)	27
Tabla 7. Requisitos de moldeado por varillado.....	28
Tabla 8. Ensayos realizados a los agregados	29
Tabla 9. Resumen de las propiedades del cemento y agregados.....	32
Tabla 10. Dosificación del hormigón 240 kg/cm ²	32
Tabla 11. Resumen de esfuerzos y deflexiones para hormigón sin fibras 0-R1	37
Tabla 12. Resumen de esfuerzos y deflexiones para hormigón sin fibras 0-R2	37
Tabla 13. Resumen de esfuerzos y deflexiones para hormigón sin fibras 0-R3	38
Tabla 14. Promedio de esfuerzos y deflexiones para hormigón sin fibras.....	39
Tabla 15. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 3 kg/m ³ de fibra (3-R1).....	40
Tabla 16. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 3 kg/m ³ de fibra (3-R2).....	41
Tabla 17. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 3 kg/m ³ de fibra (3-R3).....	42
Tabla 18. Promedio de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 3 kg/m ³ de fibra	43
Tabla 19. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 6 kg/m ³ de fibra (6-R1).....	44
Tabla 20. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 6 kg/m ³ de fibra (6-R2).....	45
Tabla 21. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 6 kg/m ³ de fibra (6-R3).....	46
Tabla 22. Promedio de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 6 kg/m ³ de fibra (6 kg/m ³)	47
Tabla 23. Resumen del desempeño de hormigón reforzado con fibras utilizando diferentes fracciones volumétricas.....	48

Tabla 24. Trabajo y energía de fractura para hormigón sin fibras	51
Tabla 25. Trabajo y energía de fractura para SNFRC (3 kg/m ³).....	52
Tabla 26. Trabajo y energía de fractura para SNFRC (6 kg/m ³).....	52
Tabla 27. Resumen del coeficiente de orientación de las probetas ensayadas.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contribución de las fibras frente a esfuerzos de tracción por flexión	5
Figura 2. Desempeño por ablandamiento y endurecimiento.....	6
Figura 3. Mecanismo de trabajo de fibras como refuerzo en el hormigón	8
Figura 4. Coeficiente de orientación para cada área	9
Figura 5. Sección de una viga dividida en diferentes zonas de orientación.....	10
Figura 6. Losa de concreto reforzado con fibras utilizada en aeropuertos.....	11
Figura 7. Piso sin juntas de 50000 m ²	11
Figura 8. Ejemplo de construcción de losas elevadas utilizando fibras como refuerzo del hormigón	12
Figura 9. Losa compuesta utilizando fibras como refuerzo	12
Figura 10. Revestimientos de túneles prefabricados.....	13
Figura 11. Estabilización de rocas con hormigón reforzado con fibras de acero	13
Figura 12. Fractura de hormigón reforzado con fibras	14
Figura 13. Formas comunes de fibras de acero.....	15
Figura 14. Macro fibra polimérica	15
Figura 15. Fibras TUF – STRAND SF	16
Figura 16. Disposición de la probeta según ASTM C78	17
Figura 17. Parámetros presentes en la curva Carga-Deformación.....	19
Figura 18. Mina “La Playa”	25
Figura 19. Vista en planta del relleno del molde	28
Figura 20. Curva granulométrica del agregado fino	30
Figura 21. Curva granulométrica del agregado grueso	30
Figura 22. Porcentaje óptimo de la mezcla	31
Figura 23. (a) Adición de fibras al hormigón, (b) Elaboración de las probetas (c) Curado de las vigas	33
Figura 24. Simbología utilizada en el manejo de resultados.....	34

Figura 25.(a) Preparación de la probeta (b) Ensayo a flexión (c) Curva carga vs deflexión (software Trapezium X)	34
Figura 26. Carga-deflexión para hormigón reforzado con fibras de poliolefina.....	35
Figura 27. Curva carga - deflexión para hormigón sin fibras 0-R1	36
Figura 28. Curva carga - deflexión para hormigón sin fibras 0-R2	37
Figura 29. Curva carga - deflexión para hormigón sin fibras 0-R3	38
Figura 30. Curva promedio carga - deflexión para hormigón sin fibras.....	39
Figura 31. Curva promedio esfuerzo - deflexión para hormigón sin fibras.....	40
Figura 32. Curva carga - deflexión para hormigón con 3 kg/m ³ de fibra (3-R1).....	41
Figura 33. Curva carga - deflexión para hormigón con 3 kg/m ³ de fibra (3-R2).....	41
Figura 34. Curva carga - deflexión para hormigón con 3 kg/m ³ de fibra (3-R3).....	42
Figura 35. Curva promedio carga - deflexión para hormigón con 3 kg/m ³ de fibra ..	43
Figura 36. Curva promedio esfuerzo-deflexión para SNFRC con 3 kg/m ³	44
Figura 37. Curva carga - deflexión para hormigón con 6 kg/m ³ de fibra (6-R1).....	45
Figura 38. Curva carga - deflexión para hormigón con 6 kg/m ³ de fibra (6-R2).....	45
Figura 39. Curva carga - deflexión para hormigón con 6 kg/m ³ de fibra (6-R3).....	46
Figura 40. Curva promedio carga - deflexión para hormigón con 6 kg/m ³ de fibra ..	47
Figura 41. Curva promedio esfuerzo-deflexión para SNFRC con 6 kg/m ³	47
Figura 42. Curva esfuerzo-deflexión para hormigón con 0, 3 y 6 kg/m ³ de fibra.....	49
Figura 43. Comportamiento de SNFRC- ASTM1609 (a) 1.5kg/m ³ (b) 5.5 kg/m ³	50
Figura 44. Carga vs Deflexión para 3.0 kg/m ³ de fibra.....	51
Figura 45. Energía de fractura para hormigón sin fibra y SNFRC de 3 y 6 kg/m ³	53
Figura 46. Probeta 6-P2 ensayada.....	53
Figura 47. Fallas en las fibras (a) Rotura (b) Deslizamiento (c) Mal situada	54
Figura 48. Efecto pared	55
Figura 49. Áreas de estudio para el conteo de fibras.	55
Figura 50. Trazado de las zonas de estudio para el conteo de fibras	56
Figura 51. Coeficiente de orientación en la zona A	57
Figura 52. Coeficiente de orientación en la zona B	57
Figura 53. Coeficiente de orientación en la zona C	58
Figura 54. Coeficiente de orientación en la zona D	58
Figura 55 . Coeficiente de orientación en la zona E	59
Figura 56. Coeficiente de orientación en la zona F.....	59

Figura 57. Resumen del coeficiente de orientación (3 kg/m ³)	60
Figura 58. Resumen del coeficiente de orientación (6 kg/m ³)	60
Figura 59. Coeficientes teóricos de orientación	61
Figura 60. Coeficientes de orientación de diferentes estudios	61
Figura 61. Resistencia a la compresión de hormigón simple y SNFRC	62
Figura 62. Resumen de la resistencia a compresión de hormigón simple y SNFRC.	62
Figura 63. Hormigón Simple (a) y (b) Ensayo a compresión	63
Figura 64. Hormigón Reforzado con fibra (a) y (b) Ensayo a compresión.....	63

RESUMEN

La adición de fibras en el hormigón representa una nueva técnica encaminada a mejorar el comportamiento a tracción que desarrolla el hormigón simple, si bien su uso es relativamente nuevo, cada vez más investigaciones buscan caracterizar de qué manera influyen las fibras en las propiedades del hormigón.

El presente trabajo de titulación estudió la influencia de fibras de polipropileno/polietileno (Tuf Strand SF) en el hormigón. Se determinó las propiedades de los agregados para realizar la dosificación del hormigón, con una resistencia de 240 kg/cm² a compresión. Se utilizó dosificaciones de 3 y 6 kg/m³ de fibra y hormigón simple para realizar un análisis comparativo, elaborándose en total 27 vigas (50x15x15cm) según las recomendaciones de la norma ASTM 1609 para ser ensayada a flexión. Una vez obtenidos los resultados se elaboraron las gráficas Carga vs Deflexión para comparar deflexiones, resistencias residuales y energías de rotura entre las diferentes fracciones volumétricas. El estudio de la distribución de fibras se realizó mediante el conteo de fibras, en zonas especificadas, de las semisecciones de las probetas, obteniéndose el coeficiente de orientación por áreas y total.

La comparación del desempeño del hormigón simple y el reforzado con fibra permitió verificar que la adición de fibras en el hormigón mejoran su ductilidad y el conteo de fibras corroboró la influencia del “Efecto pared” en la distribución de fibras en la matriz del hormigón.

Palabras Clave: Fibras estructurales, SNFRC, Ductilidad, Tenacidad del hormigón, Energía de rotura, Coeficiente de orientación. ASTM 1609.

ABSTRACT

The addition of fibers in concrete represents a new technique aimed at improving the tensile behavior developed by simple concrete, although its use is relatively new, more and more research seeks to characterize how fibers influence the concrete properties.

The present degree work studied the influence of polypropylene/polyethylene fibers (Tuf Strand SF) in concrete. The characterization of the properties of the aggregates are necessary to get the dosage of the concrete, using a resistance of 240 kg/cm² to compression. Dosages of 3 and 6 kg/m³ of fiber and simple concrete were used to get a comparative analysis, making a total of 27 50x15x15cm beams according to the recommendations of ASTM 1609 standard. Once the results were obtained, the Load vs. Deflection graphs were prepared to compare deflections, residual strengths and fracture energy between the different volumetric fractions. The study of fiber distribution was carried out by counting fibers, in specified areas, of the semi-sections of the specimens, obtaining the orientation coefficient by areas and total.

The comparison of the performance of simple and fiber-reinforced concrete allowed us to verify that the addition of fibers in the concrete improves its ductility and the fiber count corroborated the influence of the "Wall Effect" on the distribution of fibers in the concrete matrix.

Keywords: Structural fibers, SNFRC, Ductility, Concrete toughness, Fracture energy, Orientation coefficient. ASTM 1609.

CAPÍTULO I.

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1 Antecedentes

La utilización de diversas fibras como elemento de refuerzo en el hormigón es una práctica que está tomando relevancia en la actualidad, pudiéndose mencionar ciertas investigaciones:

Estudios realizados por Silva. L y Millán. M en los años 2014 y 2013 respectivamente [1], [2], se ha realizado una evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón reforzado con fibras metálicas y polipropileno, se destaca que en el comportamiento a flexión, las fibras aportan una disminución en la fisuración del elemento, mejoran la ductilidad y tenacidad del hormigón [1], [2].

En un sentido más amplio, Reyes. I, año 2016, en su estudio del comportamiento a flexión donde evalúa el desempeño de hormigones reforzados con fibra (resistencias residuales) menciona que, el hormigón simple presenta deformaciones inferiores con respecto al reforzado con fibras, esto en consecuencia, permite una mayor ductilidad que a su vez da paso a un aumento en la tenacidad del elemento [3].

La relación entre la cantidad de fibra utilizada y la resistencia post- fisuración se ha demostrado que es proporcional [3], [4] e influenciada en gran medida por el tipo de fibra utilizada.

Las investigaciones llevadas a cabo por M. G. Alberti, A. Enfedaque, J. C. Gálvez, y V. Agrawal en el año 2016 [5] menciona que el desempeño que puede tener la fibra dentro del hormigón se ve influenciado por ciertos parámetros, entre los cuales se destaca, la orientación de la fibra en el hormigón, característica que puede ser descrita por un factor de orientación, de allí la importancia del estudio de dichos factores.

Particularmente para las fibras de polipropileno, la ACI 544 1R (Report On Fiber Reinforced Concrete) [6] menciona que su uso resulta eficaz, especialmente, en aplicaciones donde se deba llevar un control en los cambios térmicos y de humedad al ser un material hidrofóbico; además, las fibras de polipropileno presentan también, comportamientos idénticos a las fibras metálicas frente a esfuerzos de fatiga, siendo

recomendado su uso en aplicaciones como pavimentos, suelos, tableros de puentes, y construcciones en alta mar [6]. Por otra parte la ACI 544 4R (Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete) [4] no excluye a las fibras de polipropileno, ni a ninguna otra, de ciertos usos en la construcción, sino más bien, recomienda realizar los ensayos necesarios para determinar que tipo de fibra es más eficiente para el uso deseado.

Las normativas ACI 544 1R (Report On Fiber Reinforced Concrete) [6] y ACI 544 4R (Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete) [4] mencionan que el comportamiento a compresión del hormigón reforzado con fibras no varía en gran medida, mientras que en flexión el hormigón aporta grandes beneficios de las resistencias post-fisuración.

1.1.2 Justificación

La gran resistencia a compresión que brinda el hormigón lo convierte en uno de los materiales más utilizados para la construcción de obras civiles, sin embargo presenta deficiencias frente a esfuerzos de tracción, de ahí que es común la utilización de barras de acero para suplir esta deficiencia, sin embargo nuevas técnicas como la utilización de fibras en el hormigón está tomando importancia en los últimos años

El uso de fibras en hormigones ha tomado importancia a mediados del siglo XX puesto que, disminuyen los costos operativos, incrementa la tenacidad a la flexión, resistencia a la abrasión e impacto y reduce las fisuras por retracción plástica[7], en cuanto a sus aplicaciones destacan pavimentos, revestimientos de túneles y elementos prefabricados de hormigón. [6]

Cabe mencionar que existe una variedad de fibras para el refuerzo del hormigón, como lo son las fibras de vidrio, acero, sintéticas y naturales [6], y de diversos tipos: micro-fibras (< 0,30 mm diámetro) y macro-fibras (> 0,30 mm diámetro), de las cuales, solo las últimas contribuyen estructuralmente al hormigón [8], por ello, el correcto uso de fibras requiere de bases científicas sólidas, citando por ejemplo, las recomendaciones presentes en la ACI 544 1R y ASTM C-1116

Si bien existen normas, como la ASTM C-1116, que especifican los requisitos que debe cumplir una fibra estructural, el desempeño del hormigón reforzado con fibras no está determinado únicamente por las propiedades de la fibra, de ahí que se deba estudiar el comportamiento en conjunto hormigón-fibra para evaluar su desempeño [4]

Normativas como la ACI 544 1R [6] y ACI 544 4R [4] establecen los rangos comunes de dosificación de las fibras en el hormigón, sin embargo se menciona que es necesario realizar ensayos estandarizados, como la normativa ASTM 1609, utilizando diferentes porcentajes de fibra, con el objetivo de seleccionar el más adecuado para un determinado uso.

De ahí que, la presente investigación busca conocer el comportamiento a flexión del hormigón reforzado con macro fibras de polipropileno/ polietileno del tipo monofilamento, al analizar dicha propiedad mecánica

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 El Hormigón y sus componentes

1.1.3.1.1 Hormigón

El hormigón es una mezcla de cemento, arena, grava u otro agregado, y agua, la cual, después de endurecerse adquiere resistencia. El cemento reacciona químicamente gracias a la interacción con el agua, uniendo las partículas de los agregados y constituyéndose como una única masa sólida. [9]

Las propiedades del concreto pueden variar en gran medida dependiendo de las proporciones, tipos de agregados utilizados, sus características particulares, técnicas de dosificación, su manipulación, entre otras. De ahí que una de sus principales características de ser considerado como un material heterogéneo y anisotrópico [10]

La resistencia a compresión que adquiere el hormigón endurecido es alta, de tal manera que es similar a la resistencia de piedras naturales, sin embargo, la resistencia a tracción es apenas una fracción de la resistencia a compresión, de ahí, que en la segunda mitad del siglo XIX se considerará la adición de acero embebido en zonas donde el elemento de hormigón sufriera tracción [9]

1.1.3.1.2 Cemento

Polvo fino formado a partir de una mezcla de caliza y arcillas calcinadas, que tiene la capacidad de endurecer en contacto con el agua para posteriormente ganar resistencia

La variedad de los tipos de cementos se da debido a las propiedades que ofrecen cada uno, la norma NTE INEN 152 establece cinco diferentes tipos de cemento portland [11]:

Tipo I: Utilizado para hormigones que no requieren características especiales

Tipo IA: Cemento del Tipo I con incorporación de aire

Tipo II: Su uso es conveniente cuando se pretende lograr una moderada resistencia a sulfatos, útiles en estructuras en contacto con el agua

Tipo IIA: Incluye incorporación de aire

Tipo III: Desarrolla una alta resistencia a edades tempranas, desarrollando un mayor calor de hidratación

Tipo IIIA: Incluye incorporación de aire

Tipo IV: Se caracterizan por un bajo calor de hidratación, desarrollando un fraguado lento

Tipo V: Utilizado para lograr elevada resistencia a sulfatos

1.1.3.1.3 Agregado Grueso

Básicamente conformado por grava, corresponde a la fracción con partículas mayores a 5mm, tamiz No. 4, la dureza, densidad y módulo de elasticidad son factores proporcionales a su calidad, prefiriéndose gravas con densidades reales mayores a 2.6 g/cc, no siendo admisibles con valores inferiores a 2.3 g/cc y una resistencia a la compresión menor a 500 kg/cm² [12], [13]

1.1.3.1.4 Agregado Fino

Generalmente obtenida de la trituración de basaltos, granitos, caliza, minas entre otros y corresponden a la fracción con partículas menores a 5 mm y es retenido en el tamiz No. 200 (75 µm); su uso en hormigones exige la ausencia de sustancias perjudiciales en su estructura [12], [13]

1.1.3.1.5 Agua

El uso de agua adecuada resulta relevante para una correcta reacción química con el cemento, de manera general se utiliza la premisa de que cualquier agua potable es útil para hormigones, sin embargo puede haber ciertas excepciones en aguas no potables.

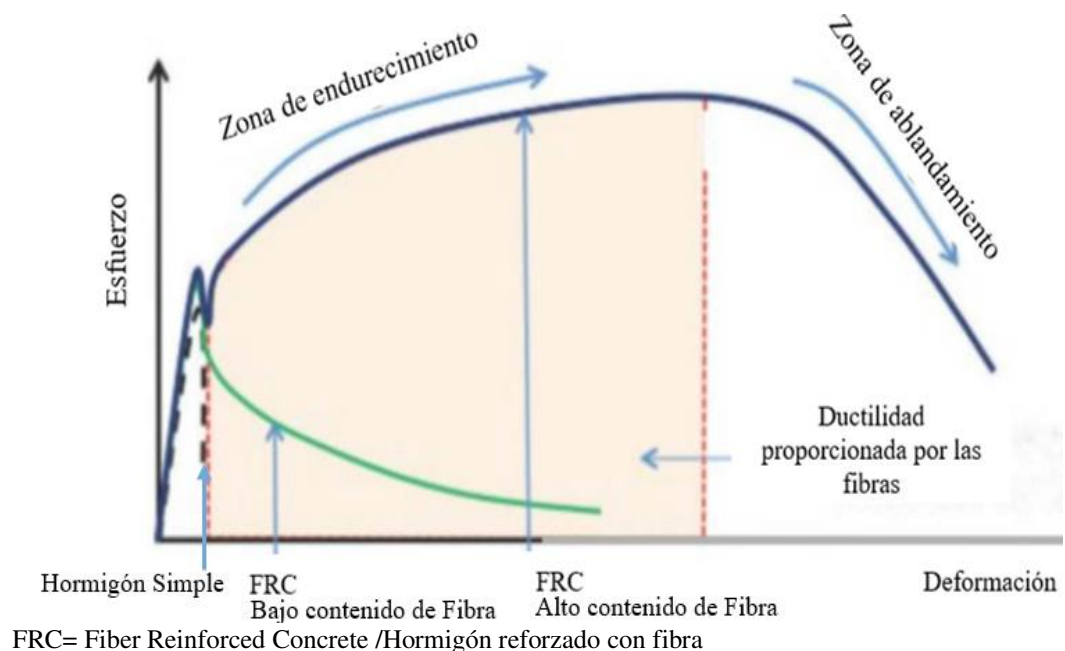
Impurezas excesivas en el agua desencadena manchados en el concreto, disminución en la resistencia y en casos más severos corrosión en el refuerzo de acero; la presencia de solidos disueltos inferiores a 2,000 partes por millón no significan problemas en la mayoría de los casos.

La presencia excesiva de carbonatos y bicarbonatos alcalinos provocan fraguados acelerados o retardados respectivamente, que en todo caso afectan a la resistencia final del hormigón; los cloruros pueden provocar la corrosión del acero, mientras que la presencia de sulfatos provoca efectos expansivos en el concreto. [14]

1.1.3.2 Hormigón reforzado con fibras

El hormigón convencional tiene la principal deficiencia de presentar resistencias relativamente bajas a tracción, acompañado de una mínima deformación en la zona de falla, las fibras generalmente se ubican de manera dispersa en la matriz de hormigón, resultando en una solución económica gracias a la facilidad de añadir las fibras en el hormigón.[6]

Figura 1. Contribución de las fibras frente a esfuerzos de tracción por flexión



Fuente: ACI 544.4R, Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete [4]

El mecanismo de las fibras se activan por la presencia de grietas permitiendo transmitir esfuerzos mientras la deformación aumenta, lo que conlleva a presentarse resistencias residuales o también llamadas resistencias post-fisura. Cantidades bajas

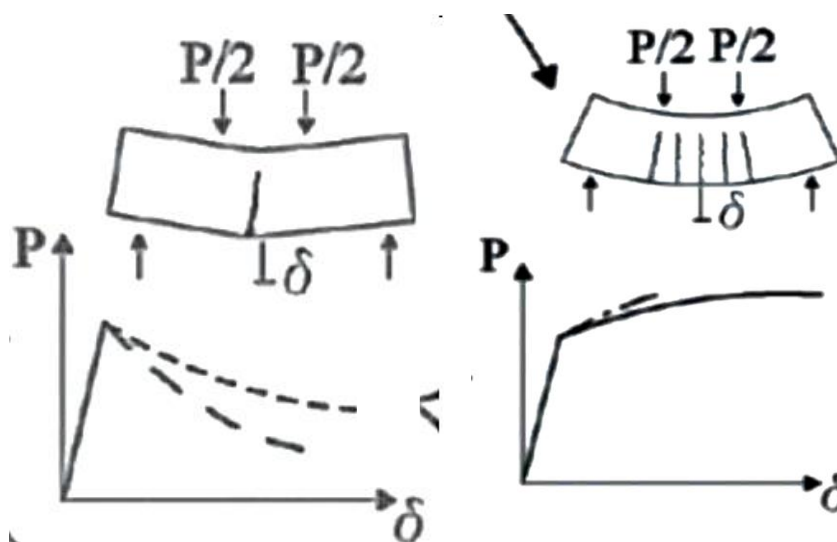
de fibra no producen necesariamente un aumento de la capacidad de carga máxima, pero permite una mejora en la capacidad post-fisura, cantidades más altas pueden provocar fisuración múltiple e incluso, aumentar la carga hasta cierto punto donde se producirá el arrancamiento de las fibras [4], [15]

La normativa ACI 544 4R recomienda los ensayos ASTM 1609 Y ASTM C1550 para evaluar el desempeño de las fibras en el hormigón usando vigas y paneles respectivamente

Bajas cantidades de fibra producen una única falla en el elemento, mientras que contenidos más altos de fibra presentan fallas múltiples [4], como se observa en la Figura 2

Dependiendo de la cantidad de fibra usada se pueden esperar determinados comportamientos post-fisuración. Cantidades bajas de fibra producen una zona de ablandamiento o también conocida como reblandecimiento, que se caracteriza por presentar esfuerzos menores al esfuerzo producido en el momento de la fisura del elemento; al aumentar el contenido de fibra se mejora el comportamiento estructural del elemento, produciendo una zona de endurecimiento, en la cual, mientras el ancho de la fisura aumenta el esfuerzo también aumenta hasta cierto punto de falla, después del cual se producirá una zona de ablandamiento.[4]

Figura 2. Desempeño por ablandamiento y endurecimiento



Fuente: ACI 544.4R, Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete [4]

La cantidad de fibra utilizada en el hormigón se la expresa normalmente como un porcentaje por volumen de fibra en el hormigón, conocida como fracción volumétrica, para fibras sintéticas de polipropileno se recomiendan valores del 0.1% al 10% [6], es común que comercialmente se use la cantidad en kg de fibra por cada metro cúbico para representar la fracción volumétrica. Dependiendo de la fracción volumétrica y tipo de fibra usada se pueden presentar comportamiento de reblandecimiento o endurecimiento tras la rotura del elemento.

Influencia de la fracción volumétrica en las propiedades del hormigón: La adición de fibras influye drásticamente en la trabajabilidad del hormigón, disminuyendo la trabajabilidad a medida que la fracción volumétrica aumenta, de ahí que se recomiende el uso de hormigones fluidos para la adición de fibras [4], [16], controla la retracción del hormigón permitiendo controlar las fisuras que se pudieran formar en el fraguado.

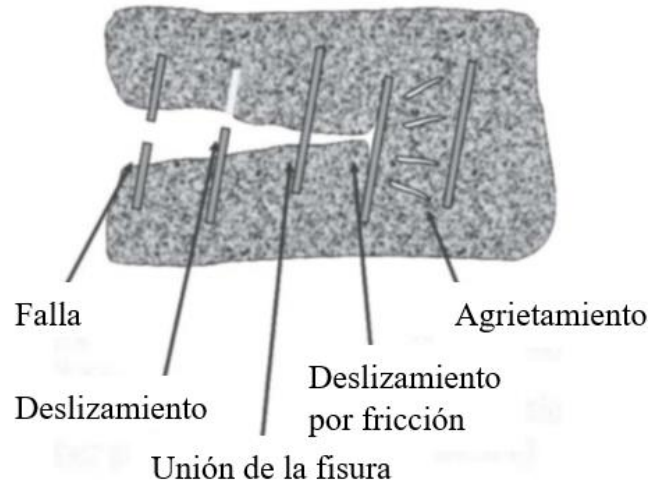
En cuanto a las propiedades del hormigón endurecido, de manera general bajas fracciones volumétricas no afectan notoriamente la resistencia a compresión del hormigón, la ACI 544 menciona que para 0% a 1.5% de fibra por volumen se presentan aumentos en la resistencia a compresión de 0 a 15%. La resistencia a tracción es la propiedad del hormigón más favorecida del hormigón gracias a la aparición de resistencias residuales tras la rotura.

1.1.3.2.1 Orientación de Fibras

Los valores de las resistencias residuales en ensayos de tracción por flexión se encuentran condicionados por ciertos parámetros, como son, el tipo de fibra, la densidad utilizada, el método de compactación, método de vertido, tamaño de molde y sobre todo por la orientación de la fibra dentro de la matriz de hormigón [5], [17]

La orientación de las fibras inciden de manera que, al encontrarse paralelas a la dirección de tracción generan mejores resistencias residuales, mientras que al ubicarse perpendiculares la incidencia estructural llega a ser incluso nula. [17]

Figura 3. Mecanismo de trabajo de fibras como refuerzo en el hormigón



Fuente: ACI 544.4R, Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete [4]

Factor de distribución y orientación: Brinda un valor que se encuentra relacionado con la orientación de las fibras en una sección de hormigón; si las fibras se encontrarán perfectamente alineadas en la dirección de tracción, número teórico y contado de fibras sería el mismo, correspondiendo a un factor de 1, propuesto por Krenchel.1975. La determinación del factor se indica en las siguientes ecuaciones: [5]

$$V_f = \frac{W_f}{\rho * V}$$

$$th = \frac{A * V_f}{A_f}$$

$$\theta = \frac{n}{th} = n * \frac{A_f}{V_f * A}$$

Donde:

V_f = Fracción volumétrica de la fibra

W_f = Peso de las fibras para un volumen de 1m³

ρ = Densidad de la Fibra

V = Volumen total

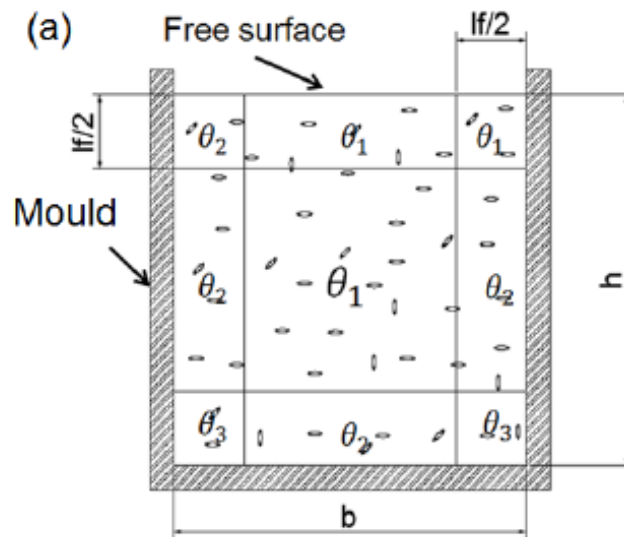
A = Sección transversal de la probeta

A_f = Sección de la fibra

θ = Factor de orientación

Se pueden presentar tres zonas, con diferentes coeficientes de orientación, en la sección transversal de la probeta; presentándose θ_1 para la zona libre, θ_2 afectado por la zona θ_1 y efecto pared, un coeficiente θ_3 influenciado por doble efecto pared [18]

Figura 4. Coeficiente de orientación para cada área



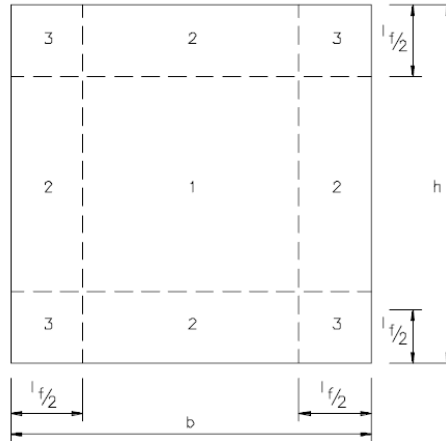
Fuente: M. García Alberti, Polyolefin fibre-reinforced concrete: from material behaviour to numerical and design considerations. [18]

1.1.3.2.2 Efecto pared

Como se mencionó anteriormente el efecto de las paredes del molde en el hormigón reforzado con fibras influyen en el factor de orientación en determinadas zonas, las paredes del molde representan condiciones de contorno que no permiten que las fibras se muevan libremente, el efecto es notorio en una distancia de la mitad de la longitud de la fibra desde el molde del elemento [19] [20]

En la Figura 5 se aprecia una sección cuadrada de una viga dividida en tres diferentes zonas, la zona 1 corresponde al área donde la fibra se puede mover libremente, la zona 2 es influenciada por la pared del molde, mientras que la zona 3 tiene dos condiciones de contorno al presentarse las 2 paredes del molde, al situarse en una esquina. [20]

Figura 5. Sección de una viga dividida en diferentes zonas de orientación



Fuente: D. Dupont and L. Vandewalle, “Distribution of steel fibres in rectangular sections,” Cem. Concr. Compos. [21]

1.1.3.2.3 Energía de rotura

En la mecánica de la fractura es común utilizar la energía de fractura para su estudio, y se la define como la cantidad de energía necesaria para crear una grieta de superficie unidad proyectada sobre un plano paralelo en dirección de la fisura (Encina FM, Bulte HC, A RM, 2009) y se la calcula como el área bajo la curva Carga vs Deflexión sobre el área de la fractura.

$$G_F = \frac{W}{B * D}$$

A su vez el área bajo la curva corresponde al trabajo de fractura del elemento, presentándose que mientras mayor sea el área bajo la curva, la tenacidad del elemento aumenta. La energía de fractura se expresa típicamente en N/m y se la puede considerar como una propiedad del material de estudio. (Taghi, 2004) [18], [22]

1.1.3.2.3 Aplicaciones del hormigón reforzado con fibras

El diseño para hormigones reforzados con fibras toma en cuenta el desempeño del hormigón y las fibras en conjunto, de ahí que, el factor más importante es la resistencia residual producida en vigas de acuerdo a las normativas estandarizadas. En normativas como la “Guía para diseñar con Hormigón Reforzado con Fibras” (ACI 544 4R) utiliza la resistencia residual de probetas elaboradas de acuerdo a las normas estandarizadas, insertándolas en ecuaciones para estimar el rendimiento de las fibras y capacidad de carga en el elemento.

Entre las aplicaciones mencionadas en ésta norma se encuentran: [4]

Losas sobre el suelo: Debido a sollicitaciones como control por retracción, variaciones térmicas, agentes climáticos, y sollicitaciones de fatiga, el uso de fibras representa un aumento considerable en su vida útil

Figura 6. Losa de concreto reforzado con fibras utilizada en aeropuertos



Fuente: ACI 544.4R, Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete [4]

Reducción de juntas de control: El uso de fibras permiten una mayor distancia entre juntas ya que, la resistencia residual producida permite evitar que las fisuras se abran; el uso combinado de fibras y malla de acero permiten la construcción de los llamados “Pisos sin juntas”

Figura 7. Piso sin juntas de 50000 m²



Fuente: ACI 544.4R, Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete [4]

Losas: Utilizadas generalmente sobre pilotes poco espaciados, proporcionando resistencia frente a cargas moderadamente altas de tipo puntual, uniformemente distribuidas y dinámicas, dependiendo del requerimiento es común combinar el uso de barras y fibras de acero; la utilización de “Barras anti derrumbe” es común entre columnas, mientras que el refuerzo principal de la losa es provisto por la fibra.

Figura 8. Ejemplo de construcción de losas elevadas utilizando fibras como refuerzo del hormigón



Fuente: ACI 544.4R, Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete [4]

Losas compuestas: La utilización de fibras permite controlar esfuerzos por tracción y contracción producidos, en porciones correctamente utilizadas proporcionan refuerzo positivo, negativo y mayor capacidad al corte al conjunto.

Figura 9. Losa compuesta utilizando fibras como refuerzo



Fuente: ACI 544.4R, Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete [4]

Elementos prefabricados: Las fibras permiten reducir los espesores de los elementos prefabricados puesto que se elimina el recubrimiento mínimo de las barras de acero para evitar la corrosión. El proceso de fabricación permite una mejor automatización mejorando la calidad del producto final; la mayoría de elementos que se elaboran son cubiertas, revestimientos de túneles, tuberías, tanques, bóvedas, paneles acústicos, cajas de revisión y demás muebles para el hogar. Es importante utilizar una correcta dosificación según el requerimiento especificado.

Figura 10. Revestimientos de túneles prefabricados



Fuente: ACI 544.4R, Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete [4]

Hormigón proyectado: La facilidad para aplicar hormigón reforzado con fibras como método de estabilización resulta ideal gracias a la facilidad con la que se adapta el hormigón a cualquier superficie irregular, permitiendo un ahorro de tiempo y mano de obra

Figura 11. Estabilización de rocas con hormigón reforzado con fibras de acero



Fuente: ACI 544.4R, Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete [4]

1.1.3.3 Tipos de Fibras

La normativa EHE-08 clasifica las fibras según su función estructural en el hormigón y por su naturaleza [16]

1.1.3.3.1 Según su función

Corresponde al desempeño estructural que tiene la fibra en el hormigón, pudiéndose mencionar:

Micro fibras: también consideradas como fibras no estructurales, ya que aporta mejoría ante propiedades no estructurales del hormigón, como son, control de fisuración, aumento de la resistencia al impacto, abrasión, entre otros. Presentan un diámetro inferior a 0.30mm

Macro fibras: desarrollan un aumento de la energía de rotura del hormigón, permitiendo que las fibras se puedan considerar en el cálculo para la respuesta del hormigón. La presencia importante de fibras como refuerzo del hormigón conlleva a que sea recomendable aplicar un análisis no lineal. El diámetro debe ser mayor a 0.30mm

Figura 12. Fractura de hormigón reforzado con fibras



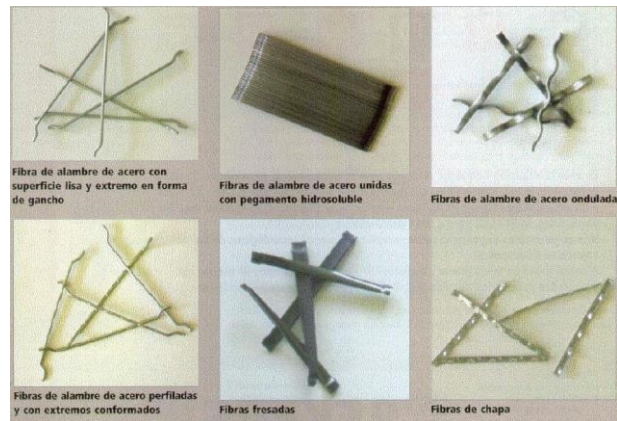
Fuente: ACI 544, “Report on Fiber Reinforced Shotcrete.,” [6]

1.1.3.3.2 Por su naturaleza

Fibras de acero: generalmente son producto del estiramiento y corte de alambre de acero en diámetros de 0.25 a 0.76mm; pueden ser trefiladas, cortadas en láminas, virutas de acero entre otras, en cuanto a sus formas pueden presentarse rectas,

corrugadas, onduladas, etc. Es común que la longitud de la fibra sea de 2.5 a 3 veces el tamaño máximo del agregado

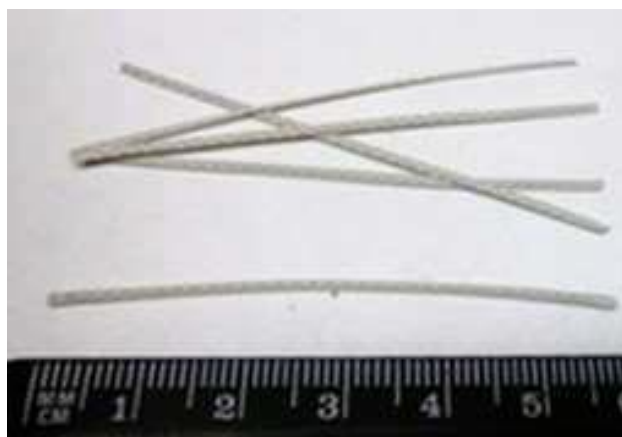
Figura 13. Formas comunes de fibras de acero



Fuente: K. Holschemacher, Perspectivas de futuro de un material de construcción innovador [23]

Fibras poliméricas: Elaboradas a partir de materiales poliméricos que son cortados tras su vaciado; el proceso de elaboración conlleva a que puedan ser de tipo monofilamento y láminas fibriladas. Es recomendable que el tamaño de la fibra sea 3 veces el tamaño nominal máximo del agregado.

Figura 14. Macro fibra polimérica



Fuente: R. Zerbino, El hormigón reforzado con fibras [15]

Demás fibras inorgánicas: La utilización de fibras de vidrio pueden utilizarse únicamente cuando se garantice un adecuado desempeño en el hormigón, puesto que se ha comprobado su deterioro en ambientes alcalinos.

1.1.3.4 Fibras utilizadas

TUF – STRAND SF son fibras estructurales, resultantes de la mezcla de polipropileno / polietileno de tipo monofilamento, cumplen con los requisitos para Hormigón y concreto lanzado reforzado con fibras (Tipo III) estipulados en la norma ASTM C-1116. [7]

Figura 15. Fibras TUF – STRAND SF



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Tabla 1. Detalles Técnicos (Fibras TUF – STRAND SF)

Propiedades Físicas	
Material	Mezcla de Polipropileno/polietileno
Gravedad Específica	0.92
Resistencia a Tensión	600-650 MPa (87-94Ksi)
Módulo de Elasticidad	9.5 GPa (1.388 Ksi)
Punto de Llama (ASTM D-1929)	330°C (625°F)
Longitud de Fibra	50 mm (2")
Aspect Ratio	74
Color	Blanco
Absorción de agua	Despreciable
Resistencia a álcalis	Excelente
Resistencia a ácidos	Excelente
Resistencia a moho-hongos	Excelente
Dosis típica	1.8 – 12 kg/m ³
Denier	3000

Fuente: Euclid - Toxement, Tuf Strand SF - Fibras sintéticas estructurales [7]

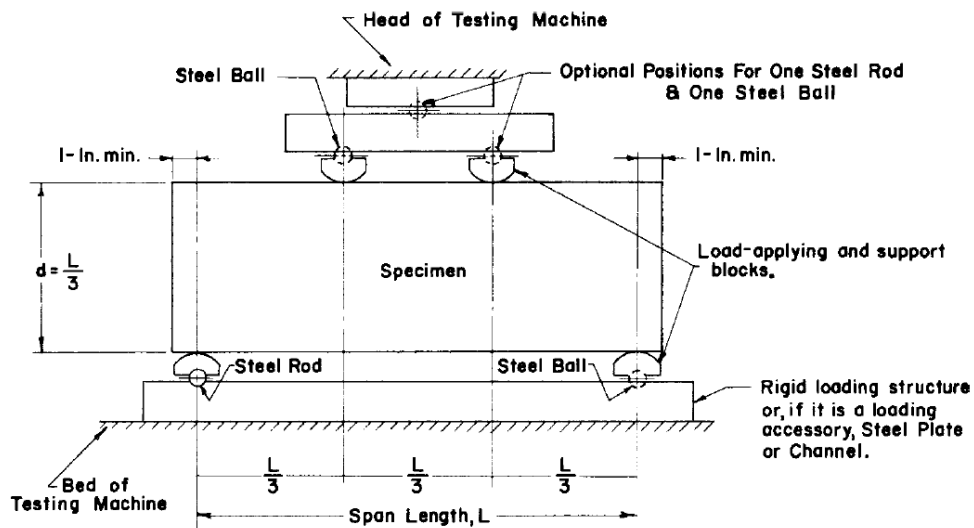
1.1.3.5 Ensayo empleado

La norma ASTM C 1609 permite la evaluación a flexión del hormigón reforzado con fibras, mediante las resistencias residuales generadas por cargas en diferentes deformaciones de la probeta.

El ensayo permite utilizar dos diferentes medidas de probetas, una de 100 x 100 x 350mm y , otra de 150 x 150 x 500mm ensayada en una longitud de 450mm, las cuales, serán cargados en los tercios medios de la luz de ensayo, similar a la ASTM C78

El ensayo se caracteriza por ser controlado por deflexión, donde se obtendrá el registro de carga vs deformación; en base a los resultados se calcula el esfuerzo máximo utilizando el pico máximo de carga; los esfuerzos residuales se obtienen a partir de las cargas obtenidas en las deformaciones de $L/600$ y $L/150$; la tenacidad es la capacidad de absorción de energía de la probeta y corresponde al área bajo la curva hasta una deformación de $L/150$.

Figura 16. Disposición de la probeta según ASTM C78



Fuente: Astm C78/C78M, “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) [24]

Cabe mencionar que la velocidad de deformación debe encontrarse entro los siguientes intervalos:

Tabla 2. Velocidad de ensayo ASTM C 1609 (in)

Tamaño de la viga	Hasta una deflexión neta de L/900	Desde una deflexión neta de L/900
4 x 4 x 14 in	0.001 a 0.003 in/min	0.002 a 0.008 in/min
6 x 6 x 20 in	0.0015 a 0.004 in/min	0.002 a 0.012 in/min

Fuente: A.International,C1609 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete(Using Beam With Third-Point Loading)[25]

Tabla 3. Velocidad de ensayo ASTM C 1609 (mm)

Tamaño de la viga	Hasta una deflexión neta de L/900	Desde una deflexión neta de L/900
100 x 100 x 350 mm	0.025 a 0.075 mm/min	0.05 a 0.20 mm/min
150 x 150 x 500 mm	0.035 a 0.10 mm/min	0.05 a 0.30 mm/min

Fuente: A.International,C1609 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete(Using Beam With Third-Point Loading)[25]

El esfuerzo, ya sea residual o máximo se lo calcula en base de la siguiente ecuación

$$f = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

f = Esfuerzo en MPa

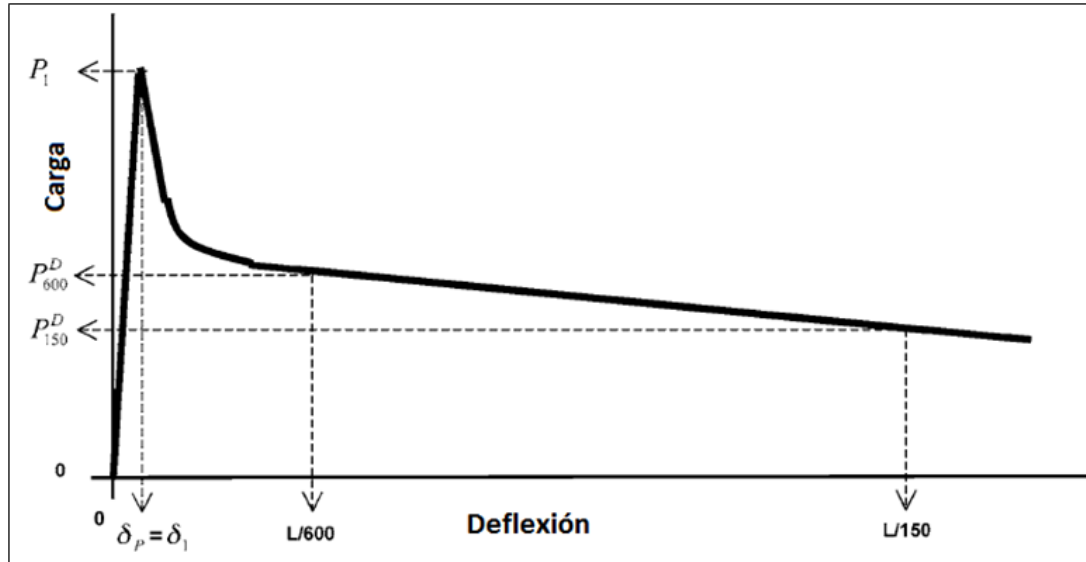
P = Carga en N

L = Longitud entre apoyos en mm

b = Promedio del ancho de la probeta en la zona de fractura en mm

d = Promedio de la altura de la probeta en la zona de fractura en mm

Figura 17. Parámetros presentes en la curva Carga-Deformación



Fuente: A. International, C 1609/C 1609M-05 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)[25]

Donde:

$L =$ Longitud entre apoyos

$P_p = P_1 =$ Carga Pico

$\delta_p = \delta_1 =$ Deflexión Neta

$f_p = f_1 =$ Esfuerzo Pico

$P_{600}^D =$ Carga residual en $L/600$

$f_{600}^D =$ Esfuerzo residual en $L/600$

$P_{150}^D =$ Carga residual en $L/150$

$f_{150}^D =$ Esfuerzo residual en $L/150$

$T_{150}^D =$ Area bajo la curva carga – deformación de 0 a $L/150$

El reporte de resultados incluye información como ancho y alto promedio de la probeta en la zona de fractura, longitud entre apoyos, esfuerzo y carga en los puntos picos y

residuales (L/600 Y L/150), Tenacidad, relación de resistencia a flexión, edad de la probeta y velocidad de ensayo. [25]

1.1.4 Hipótesis

Las fibras de Polipropileno / Polietileno como refuerzo del hormigón mejoran el comportamiento a flexión

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento a flexión de vigas de hormigón reforzado con fibras de Polipropileno / Polietileno

1.2.2 Objetivos Específicos

- Describir el comportamiento a flexión utilizando diferentes porcentajes de fibra
- Observar la distribución de fibras de Polipropileno / Polietileno en la sección transversal de la probeta
- Estudiar la tenacidad desarrollada en probetas reforzadas con fibras




CAPÍTULO II.



METODOLOGÍA

2.1 Materiales y Equipos

Para la ejecución del presente trabajo experimental se utilizaron los materiales y equipos estipulados por las normativas ASTM e INEN, destinadas a determinar las propiedades de los agregados, elaboración de probetas y su posterior curado.

2.1.1 Materiales

Cemento hidráulico Holcim tipo GU	
Descripción: Polvo fino formado a partir de una mezcla de caliza y arcillas calcinadas, que tiene la capacidad de endurecer en contacto con el agua para posteriormente ganar resistencia	
Agua	
Descripción: El agua correcta permite una reacción química con el cemento, de manera general se utiliza cualquier agua potable, sin embargo puede haber ciertas excepciones en aguas no potables.	
Agregado Fino y grueso	
Descripción: Arena lavada correspondiente al agregado fino, mientras que el agregado grueso conformado por ripio de triturado de 3/4 procedentes de la mina “La Playa”	

Fibras sintéticas estructurales (TUF – STRAND SF)	
Descripción: Fibras resultantes de la mezcla de polipropileno / polietileno de tipo monofilamento, cumplen con los requisitos para Hormigón y concreto lanzado reforzado con fibras (Tipo III) estipulados en la norma ASTM C-1116.	
Aditivo (Sika Plastocrete DM)	
Descripción: Aditivo destinado a mejorar la trabajabilidad del hormigón fresco, con acción plastificante e impermeabilizante.	

2.1.2 Equipos

Shimadzu Concrete 2000X	
Descripción: Maquina destinada a realizar diferentes ensayos de materiales, como compresión, flexión, etc. Pudiendo trabajar con cargas de 40 a 2000 kN	
Software Trapezium X	
Descripción: Software complemento de Shimadzu Concrete 2000X destinado a permitir la configuración de los parámetros del ensayo y para la salida de datos.	

Tamizadora Automática

Descripción: Utilizado para agitar los tamices que se colocan en orden, de modo que el material se tamiza de acuerdo al tamaño de la partícula, pudiéndose establecer un tiempo de trabajo de la máquina.



Equipos complementarios y menores:

- Tamices: 2", 1½", 1", ¾", ⅜", ½", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200
- Horno Eléctrico
- Balanza de 150 kg, precisión de 1g
- Balanza de 6 kg, precisión de 1g
- Moldes cilíndricos 10x20cm
- Moldes de 15x15x50cm
- Picnómetro de 500cc
- Computador personal
- Cono de Abrams
- Concretera
- Cámara de curado
- Software Excel 2019
- Pala
- Tijera
- Lima metálica
- Flexómetro
- Demás equipos menores

2.2 Metodología

2.2.1 Nivel o Tipo de Investigación

2.2.1.1 Exploratorio

En el presente estudio es aplicable puesto que conlleva estudios destinados a “Examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes” [26], en este caso, el uso de fibras como refuerzo para el hormigón es relativamente nuevo, parámetros como el tipo de fibra, longitud, diámetro, propiedades mecánicas, dosificaciones, métodos de compactación dificultan generalizar el desempeño de fibras en el hormigón. La norma ACI 544.4R, (Guía para diseñar con hormigón reforzado con fibras), por ejemplo, recomienda ensayar probetas con diferentes dosificaciones para analizar que desempeño es la más conveniente para el uso deseado. Si bien las propiedades mecánicas de las fibras pudiesen ser las mismas, el desempeño del hormigón reforzado con fibras puede diferir.

2.2.1.2 Descriptivo

Destinado a “Medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren” [26] es necesario para dosificar el hormigón a utilizar, las propiedades de los materiales son descritas a fin de conocer sus propiedades mecánicas, así mismo, los resultados deben ser expresados de manera ideal para poder ser descritos.

2.2.2 Población y Muestra

Tabla 4. Probetas a elaborarse

Contenido de fibra (kg/m³)	f_c (kg/cm²)	Total
0	240	9
3		9
6		9
TOTAL:	27	

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Se elaborarán 9 probetas por cada dosificación de fibras (0,3 y 6 kg/m³), las cuales se ensayarán a la edad de 28 días, tomando en cuenta una resistencia de diseño del concreto a compresión de 240 Kg/cm².

2.2.3 Plan de recolección de datos

Para el desarrollo del presente trabajo experimental se sigue los procedimientos estipulados por las normativas ASTM e INEN, a continuación se detalla la metodología necesaria para recolectar la información:

2.2.3.1 Adquisición de materiales

Visitar la mina “La Playa” ubicada en el cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi, tras inspeccionar el material, seleccionar la cantidad necesaria de agregados y trasladarlos, junto con el cemento tipo GU y Fibras Estructurales, a los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil

Figura 18. Mina “La Playa”



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

2.2.3.2 Ensayos de caracterización de agregados

Determinar las propiedades de los agregados de acuerdo a las normativas ASTM e INEN, detalladas a continuación:

- Granulometría del agregado grueso y fino (ASTM 136 y NTE INEN 696)

- Determinación de la capacidad de absorción y densidad real del agregado fino (NTE INEN 856)
- Determinación de la capacidad de absorción y densidad real del agregado grueso (NTE INEN 857)
- Masa unitaria, suelta y compactada del agregado fino y grueso (INEN 858)
- Densidad de la mezcla de agregado fino y grueso (INEN 858)

2.2.3.3 Dosificación de la mezcla

El método utilizado para la dosificación es el propuesto por M. Garzón, 2010 y detallado a continuación.

Tabla 5. Relación agua/cemento (W/C)

Resistencia a la compresión a los 28 días en MPA (f'c)	Relación agua/cemento (W/C)
45	0,37
42	0,40
40	0,42
35	0,46
32	0,50
30	0,51
28	0,52
25	0,55
24	0,56
21	0,58
18	0,60

Fuente: M. Garzón, “Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón”

Densidad Real de la Mezcla (DRM):

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

Porcentaje Óptimo de Vacíos (POV)

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

Tabla 6. Cantidad de Pasta (CP)

Asentamiento en cm	Cantidad de pasta en %
0 - 3	POV + 2% + 3% (POV)
3 - 6	POV + 2% + 6% (POV)
6 - 9	POV + 2% + 8% (POV)
9 - 12	POV + 2% + 11% (POV)
12 - 15	POV + 2% + 13% (POV)

Fuente: M. Garzón, “Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón”, Quito, 2010

$$CP = POV + 2\% + 13\%(POV)$$

Cantidad de Cemento para 1 m³ de hormigón

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

Cantidad de Agua (W) para 1 m³ de hormigón

$$W = \frac{W}{C} * C$$

Cantidad de Agregados

$$A = (1000 - CP) * DRA * POA/100$$

$$R = (1000 - CP) * DRR * POR/100$$

2.2.3.3 Elaboración de probetas

Las probetas deberán cumplir con las dimensiones de 15x15x50cm, medidas normadas por ASTM C1609 [25], los moldes deberán ser engrasados previamente a ser utilizados, el relleno del molde podrá ser en dos capas si se utiliza varillado como método de compactación, mientras que para vibración, una capa solamente [27], el número de golpes será de 1 por cada 14cm² de la superficie de la capa y alrededor de 10 a 15 golpes con el mazo de goma en el exterior del molde. [27], [28]

Tabla 7. Requisitos de moldeado por varillado

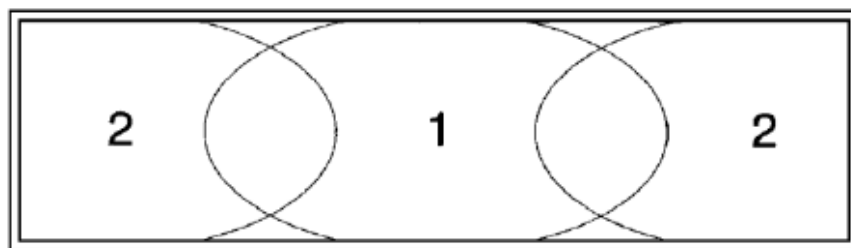
Tipo y Tamaño del Espécimen	Número de Capas de Aproximadamente Igual Profundidad	Número de golpes de Varilla por Capa
Cilíndricos:		
Diámetro, in. [mm]		
4 [100]	2	25
6 [150]	3	25
9 [225]	4	50
Vigas:		
Ancho, in. [mm]		
6 [150] a 8 [200]	2	vea 9.3
>8 [200]	3 o más de igual profundidad, cada uno sin exceder 6 in. [150 mm].	vea 9.3

Fuente: ASTM C31, “Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo de laboratorio,” [27]

La dosificación del hormigón se lo realizará tomando en cuenta las recomendaciones propuestas por EHE-08, esperando una consistencia de la mezcla fluida, junto a ello el uso del aditivo Sika Plastocrete DM para garantizar el correcto amasado entre las fibras y hormigón.

El relleno de cada capa se la realizará se realizará de acuerdo a la norma NTE INEN 3063 “El tamaño del incremento elemental 1 debe ser el doble que el del incremento elemental 2.” [29], graficado de la siguiente manera.

Figura 19. Vista en planta del relleno del molde



Fuente: NTE INEN 3063, “hormigón con fibras de acero. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión (límite de proporcionalidad (LOP), resistencia residual) [29]

Tras alisar la superficie se procederá con el respectivo etiquetado. El desmoldado se lo realizará tras 24+-8 h [28] para su posterior curado.

2.2.4 Plan de procesamiento y Análisis de la información

Las probetas se ensayarán a flexión, utilizando la normativa ASTM C1609 a los 28 días de curadas las probetas; se obtendrán las curvas Carga vs Deformación para diferentes porcentajes de fibra, serán comparadas entre sí y descritas cada una, asimismo, se realizará e conteo de fibras donde observará la distribución de las fibras tras producirse la rotura de las probetas. A partir de la curva Carga vs deflexión se obtendrá la energía de rotura

2.3 Campaña experimental

2.3.1 Propiedades de los agregados

A continuación se mencionan los ensayos realizados; para el caso de la densidad del cemento hidráulico Holcim tipo GU se optó por tomar como referencia el estudio “Análisis de aluminosilicatos como material de sustitución parcial del cemento tipo GU en la construcción” realizado por D. Yanchaguano y D. Coello [30], el procedimiento correspondiente a la caracterización de los ensayos restantes se encuentran en la sección de Anexos

Tabla 8. Ensayos realizados a los agregados

ENSAYO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Análisis Granulométrico	X	X
Densidad aparente suelta y compactada	X	X
Densidad Real	X	X
Capacidad de absorción	X	X

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

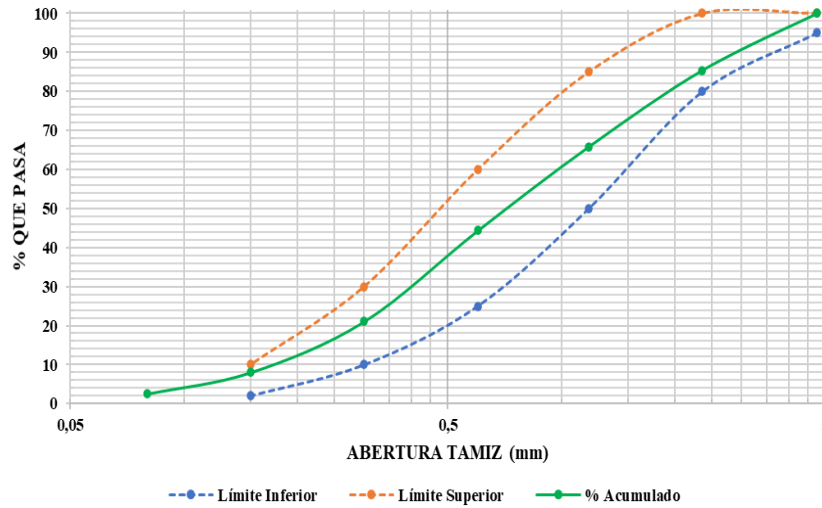
2.3.1.1 Densidad real del cemento

Se considera una densidad real de 3.075gr/cm³ para el cemento hidráulico Holcim tipo GU [30]

2.3.1.2 Análisis granulométrico

Agregado fino: El agregado fino utilizado corresponde a arena lavada, obteniéndose un módulo de finura de 2.75 según la norma NTE INEN 696, valor adecuado puesto que se encuentra dentro del rango de 2.3 – 3.1 recomendado por NTE INEN 872, asimismo la curva granulométrica se encuentra bajo los rangos recomendados.

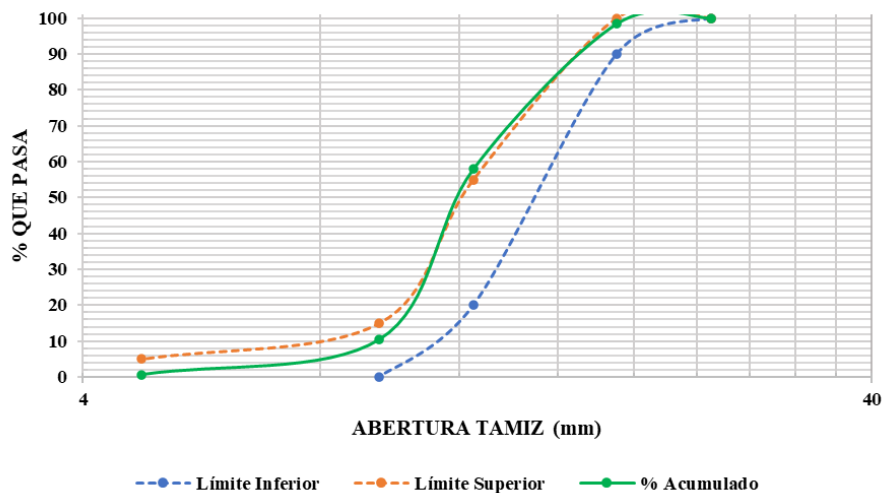
Figura 20. Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Agregado grueso: De acuerdo al ensayo NTE INEN 696 el agregado grueso presenta un tamaño nominal máximo de 3/4", mientras que la curva granulométrica se adapta de mejor manera a los límites específicos correspondientes al tamaño número 6 según los requisitos de graduación para áridos gruesos recomendados por NTE INEN 872

Figura 21. Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

2.3.1.3 Densidad aparente suelta y compactada

Agregado fino: Se presentan una densidad suelta de 1,490 gr/cm³ mientras que para la condición compactada un valor de 1.613 gr/cm³

Agregado grueso: Se obtuvo un valor de 1.332 gr/cm³ para la condición suelta y 1.460gr/cm³ para la condición compactada

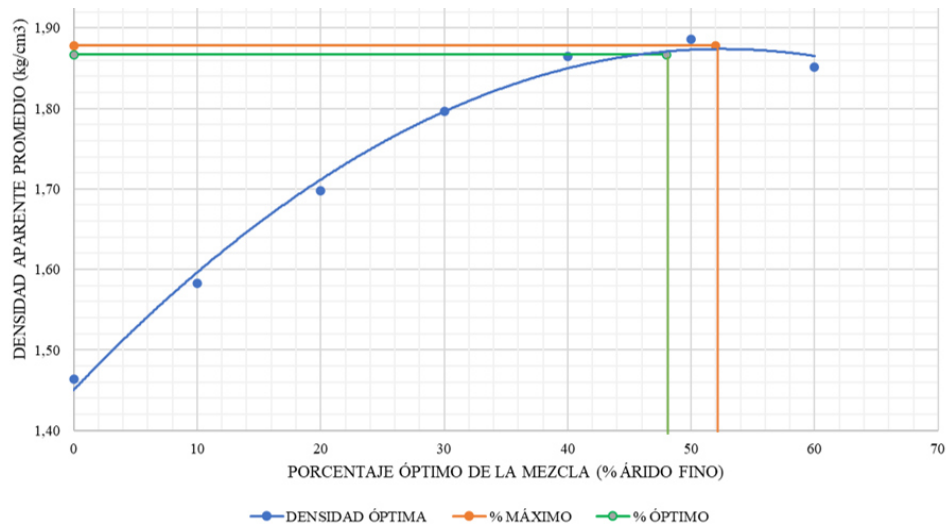
2.3.1.4 Densidad real y capacidad de absorción

El agregado fino ensayado presentó una densidad real de 2.572 gr/cm³ acompañado de un contenido de humedad de 3.240%, para el agregado grueso la densidad obtenida fue de 2.612 gr/cm³ con una capacidad de absorción de 2.146

2.3.1.5 Densidad aparente compactada de la mezcla

Tras combinar el árido grueso y fino en diferentes porcentajes se obtuvo que el porcentaje óptimo de agregado fino a utilizar en la dosificación es del 48% y el 52% restante corresponde al árido grueso, cabe mencionar que se espera una densidad óptima de la mezcla de 1.87 gr/cm³

Figura 22. Porcentaje óptimo de la mezcla



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

2.3.1.6 Resumen de las propiedades de los agregados

A continuación se presenta un resumen de las propiedades de los agregados necesarias para realizar la dosificación por el Método de la densidad óptima.

Tabla 9. Resumen de las propiedades del cemento y agregados

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Densidad real del cemento: DRC	3.075	Kg/dm^3
Densidad real de la arena: DRA	2.572	Kg/dm^3
Densidad real del ripio: DRR	2.612	Kg/dm^3
Porcentaje óptimo de arena: POA	48	%
Porcentaje óptimo de ripio: POR	52	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.87	Kg/dm^3
Capacidad de absorción de la arena: CAA	3.240	%
Capacidad de absorción del ripio: CAR	2.146	%

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

2.3.2 Dosificación

En el presente apartado se utiliza el método de la Densidad óptima para la dosificación, los agregados utilizados provienen de la mina “La Playa”, se utiliza cemento hidráulico Holcim tipo GU, con una resistencia de diseño de 240 Kg/cm².

Tabla 10. Dosificación del hormigón 240 kg/cm²

Material	Cantidad en kg por m ³ de concreto	Dosificación al peso
Agua	211,94	0,56
Cemento	378,46	1,00
Arena	820,97	2,17
Ripio	903,21	2,39
Plastificante	1.892	0.005
Fibra (3kg/m ³)	3	-
Fibra (6kg/m ³)	6	-

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

El uso de plastificante en hormigones reforzados con fibra resulta necesario, junto con el diseño de un hormigón fluido, para garantizar una correcta mezcla del hormigón-fibra según recomienda [8], el presente trabajo utiliza “Sika Plastocrete DM” al 0.5% del peso del cemento según recomendaciones del fabricante; la cantidad de fibra se lo realiza para dos diferentes dosificaciones, 3 y 6 kg/m³. A continuación se resume la dosificación utilizada

Cabe mencionar que se realizó un total de 27 vigas de 15cm x 15cm x 50cm según recomendaciones de la normativa ASTM 1609, 9 vigas corresponden a una dosificación de 0 kg/m³ de fibra, 9 elaboradas con 3 kg/m³ de fibra y otras 9 con una dosificación de 6 kg/m³ de fibra. Para la elaboración de las probetas se realizó la corrección de humedad de los agregados tomando muestras 24 horas antes de elaborarlas.

Figura 23. (a) Adición de fibras al hormigón, (b) Elaboración de las probetas (c) Curado de las vigas



(a)

(b)

(c)

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

2.3.3 Generalidades del ensayo

Tras desmoldar las probetas se las colocó en la cámara de curado a una temperatura de 23°C para ser ensayadas luego de 28 días. En total se elaboraron 27 probetas etiquetadas de la siguiente manera

$$\#_{\text{Dosificación}} - P\#_{\text{Probeta}}$$

Donde:

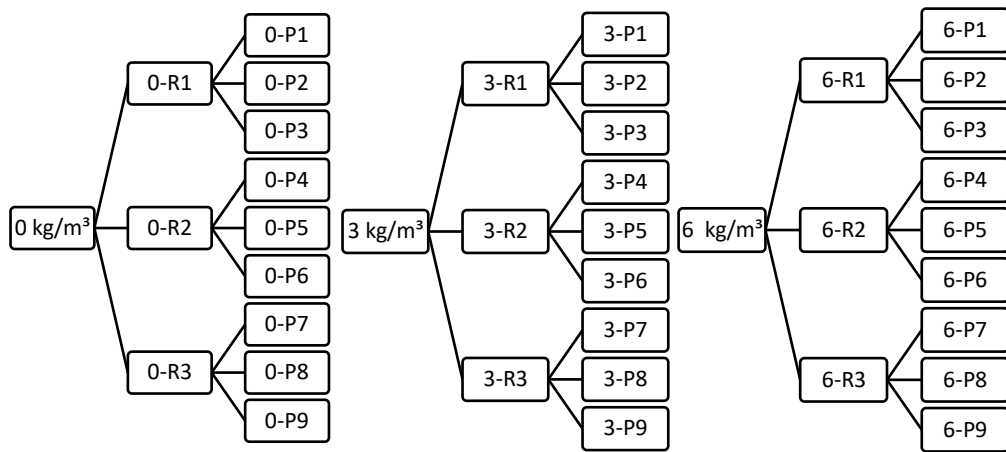
$\#_{\text{Dosificación}}$: Corresponde a la dosificación de fibra utilizada (Pudiendo ser 0,3 y 6)

$\#_{\text{Dosificación}}$: Número de probeta dentro de un lote de dosificación (1-9)

P o R : P corresponde a la probeta y R al resultado (promedio de tres ensayos de probeta)

Al requerirse 3 ensayos para obtener “Un resultado” según ASTM C1609 [25] se ha optado por elaborar 9 probetas por cada dosificación a fin de obtener 3 promedios de curvas Carga vs Deflexión por dosificación, a continuación se detalla la manera en que se manejarán los resultados. Cabe mencionar que los resultados del ensayo correspondiente de cada probeta se encuentra en la sección de Anexos.

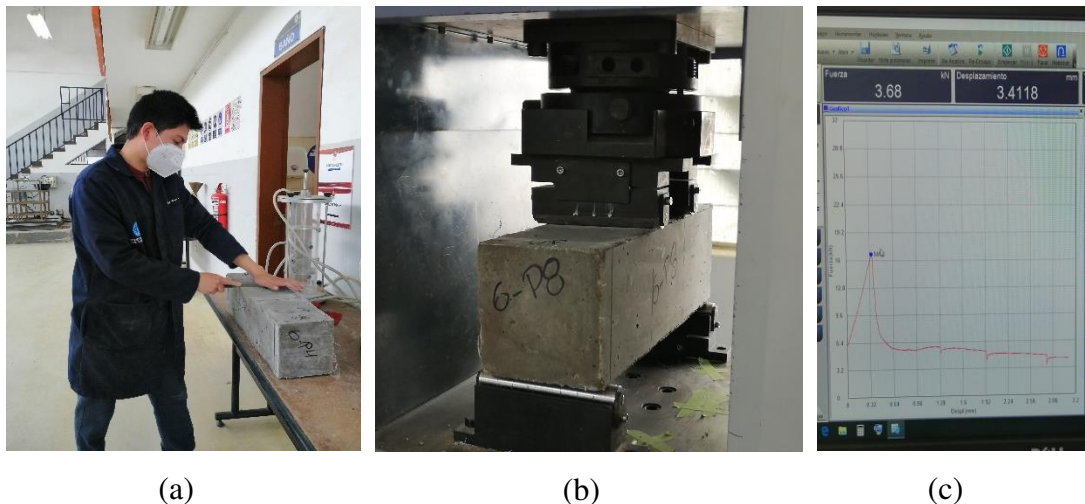
Figura 24. Simbología utilizada en el manejo de resultados



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Cumplido los 28 días de fraguado se procedió a ensayar las probetas según la ASTM 1609, tras alcanzar una deformación de 3mm el ensayo se da por terminado, y tras ellos se procede a exportar los resultados almacenados del software Trapezium X.

Figura 25.(a) Preparación de la probeta (b) Ensayo a flexión (c) Curva carga vs deflexión (software Trapezium X)

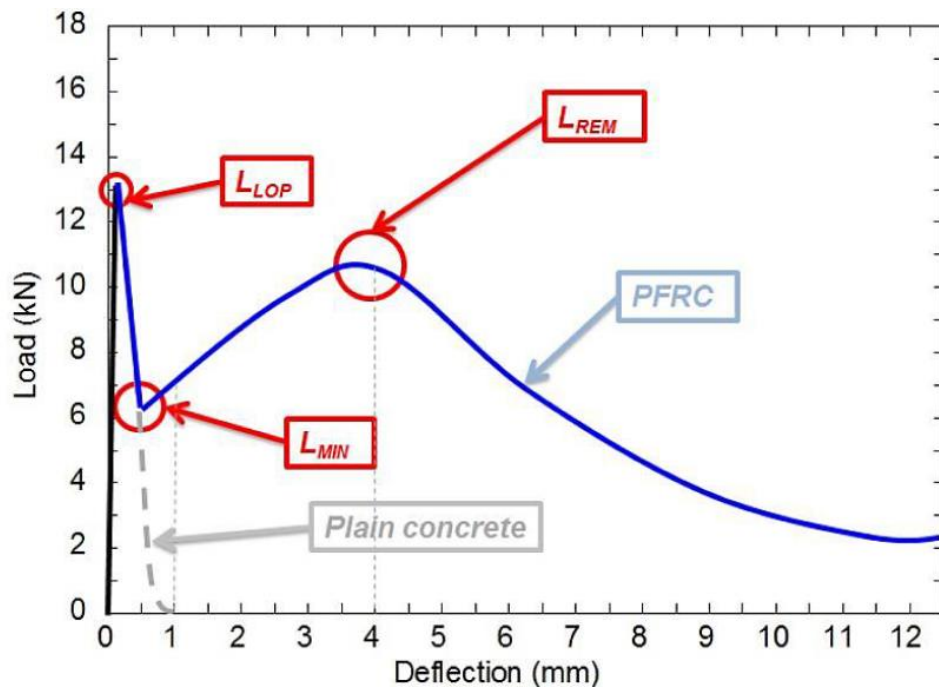


Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Los datos permiten graficar las curvas Carga vs Deflexión las cuales conllevan a describir el desempeño del hormigón con fibras, proporcionando datos como deformación en el punto de rotura, esfuerzo máximo, esfuerzos residuales y tenacidad.

En base a los resultados obtenidos se generan las curvas cargas vs deflexión a fin de poder describir el comportamiento de las probetas, el detalle de la figura 21 muestra una curva típica para el comportamiento de hormigón con fibras bajo la norma ASTM 1609, se pueden apreciar dos comportamientos tras la rotura de la probeta, una zona de endurecimiento o una de ablandamiento, al presentarse contenidos altos de fibra en el hormigón se presentan una zona caracterizada por aumentar la carga residual con respecto a la producida en la rotura, mientras que bajos contenidos de fibra proporcionan cargas residuales inferiores en magnitud con la carga pico. En la figura 17 se detallan los puntos característicos de la curva carga vs deflexión, para la norma ASTM 1609, en la figura 26 se muestra un esquema de la simbología utilizada para hormigón reforzado con fibra de poliolefina [18]

Figura 26. Carga-deflexión para hormigón reforzado con fibras de poliolefina



Fuente: M. García Alberti, Polyolefin fibre-reinforced concrete: from material behaviour to numerical and design considerations. [18]

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Comportamiento a flexión

A continuación se presentan los resultados obtenidos del ensayo para el desempeño del hormigón si fibras y reforzado con fibras de polipropileno/polietileno. Cabe mencionar que para tratar los resultados se utiliza el esquema de la figura 24 especificado anteriormente.

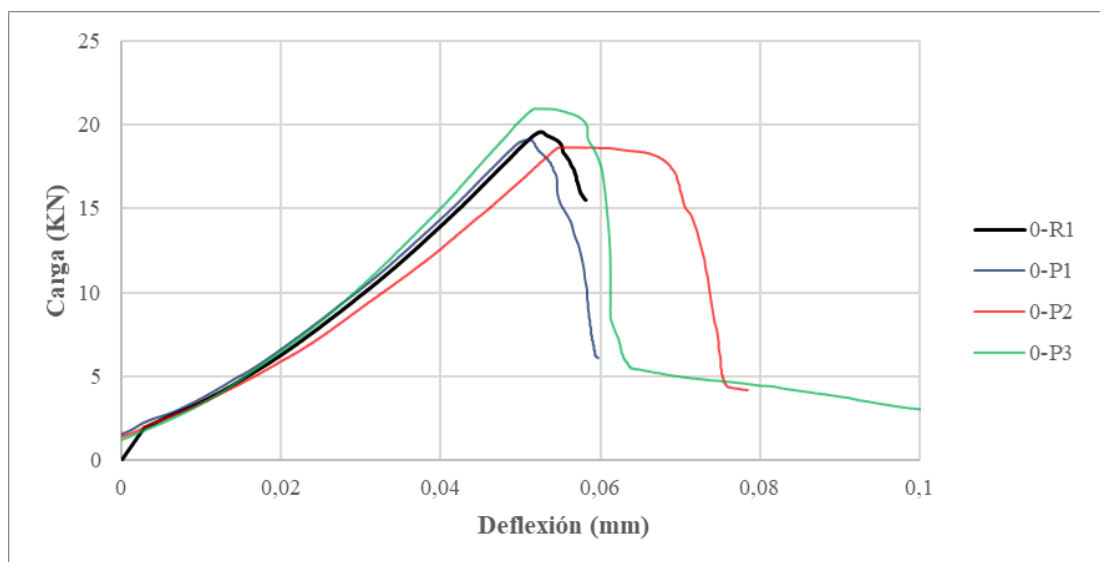
3.1.1 Hormigón sin fibras

Como ya se mencionó anteriormente se ensayaron 9 probetas sin fibras, se agruparon los resultados de manera que se obtengan 3 curvas características (0-R1, 0-R2, 0-R3) y una general; a continuación, en las tablas 10,11 y 12 se muestra un resumen de los puntos a considerar al ensayar la probetas, como son, la deflexión y esfuerzo máximo, se muestra el valor promedio que corresponde a la media de tres probetas.

Las curvas carga – deflexión de las probetas se muestran en las figuras 22, 23 y 24 de manera que se puede apreciar el comportamiento de las probetas con su respectivo valor medio (0-R1, 0-R2, 0-R3).

El reporte completo de cada probeta se detalla en la sección de Anexos.

Figura 27. Curva carga - deflexión para hormigón sin fibras 0-R1



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Tabla 11. Resumen de esfuerzos y deflexiones para hormigón sin fibras 0-R1

Dosificación de 0 kg/m³ de fibra (0-R1)			
Probetas	Deflexión	Carga Máxima	Esfuerzo máximo
0-P1	0,05	19095	2,51
0-P2	0,05	18658	2,46
0-P3	0,05	20966	2,74
Desviación estandar (Esfuerzo máximo)			0,15
Promedio	0,05	19573	2,57

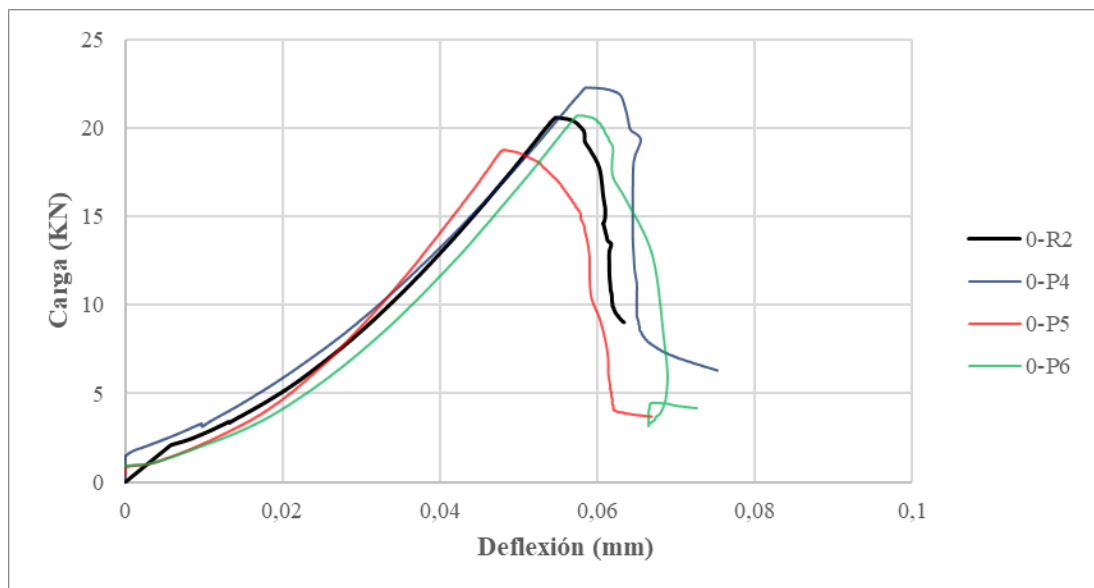
Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Tabla 12. Resumen de esfuerzos y deflexiones para hormigón sin fibras 0-R2

Dosificación de 0 kg/m³ de fibra (0-R2)			
Probetas	Deflexión	Carga Máxima	Esfuerzo máximo
0-P4	0,06	22297	2,86
0-P5	0,05	18775	2,55
0-P6	0,06	20726	2,75
Desviación estandar (Esfuerzo máximo)			0,15
Promedio	0,05	20599	2,72

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 28. Curva carga - deflexión para hormigón sin fibras 0-R2



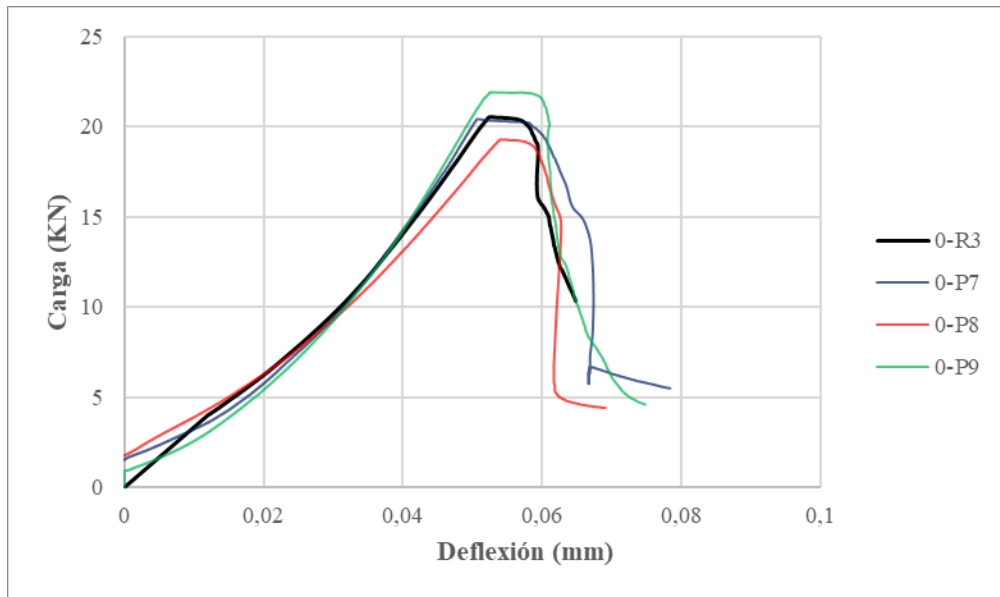
Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Tabla 13. Resumen de esfuerzos y deflexiones para hormigón sin fibras 0-R3

Dosificación de 0 kg/m³ de fibra (0-R3)			
Probetas	Deflexión	Carga Máxima	Esfuerzo máximo
0-P7	0,05	20435	2,71
0-P8	0,05	19298	2,59
0-P9	0,05	21927	2,92
Desviación estandar (Esfuerzo máximo)			0,17
Promedio	0,05	20553	2,74

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 29. Curva carga - deflexión para hormigón sin fibras 0-R3



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

El comportamiento de cada probeta, si bien no es el mismo, es aceptado puesto que el esfuerzo máximo puede presentar una desviación estándar de 0,47 [25] y es evidente que no se presentan comportamientos anormales al comparar las figuras. Es notable que tras producirse la rotura de la probeta (Carga Pico) se producen comportamientos anormales en la curva Carga vs deflexión, sin embargo no representan al comportamiento de la probeta puesto que se halla rota.

La Tabla 14 muestra el promedio de los tres resultados obtenidos, permitiendo obtener una curva característica, representada con el nombre de 0 KG/M³ para el comportamiento del hormigón sin fibras apreciable en la figura 30.

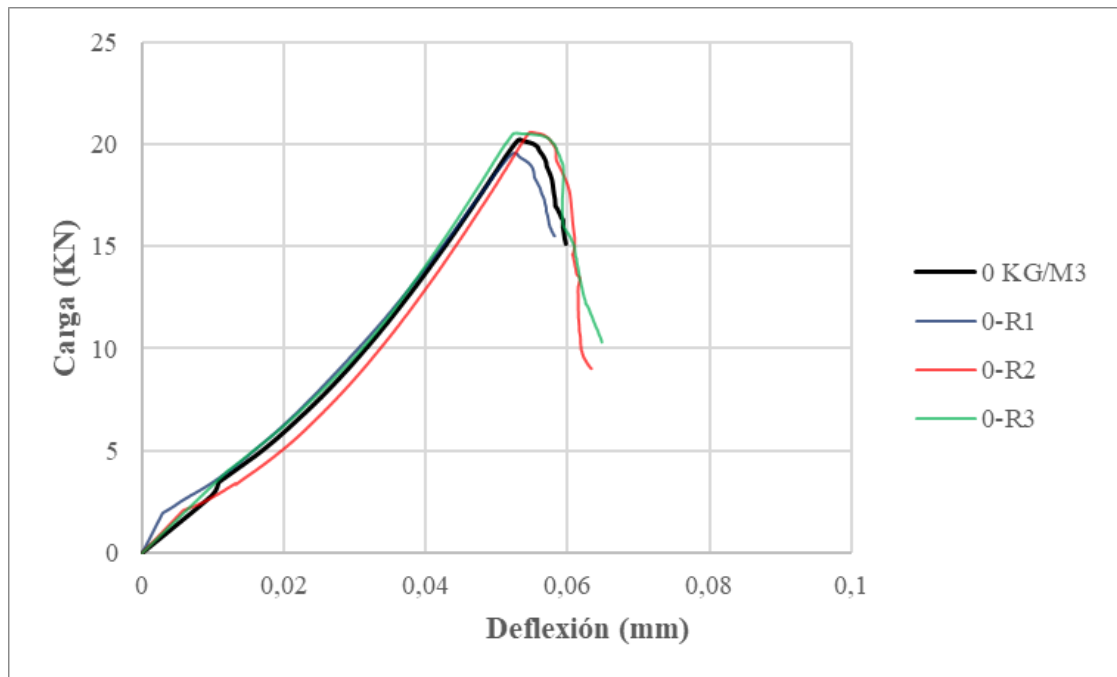
Tabla 14. Promedio de esfuerzos y deflexiones para hormigón sin fibras

Dosificación de 0 kg/m³ de fibra			
Resultado	Deflexión	Carga Máxima	Esfuerzo máximo
0-R1	0,05	19572,90	2,57
0-R2	0,05	20599,26	2,72
0-R3	0,05	20553,17	2,74
Desviación estandar (Esfuerzo máximo)			0,09
Promedio	0,05	20242	2,68

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

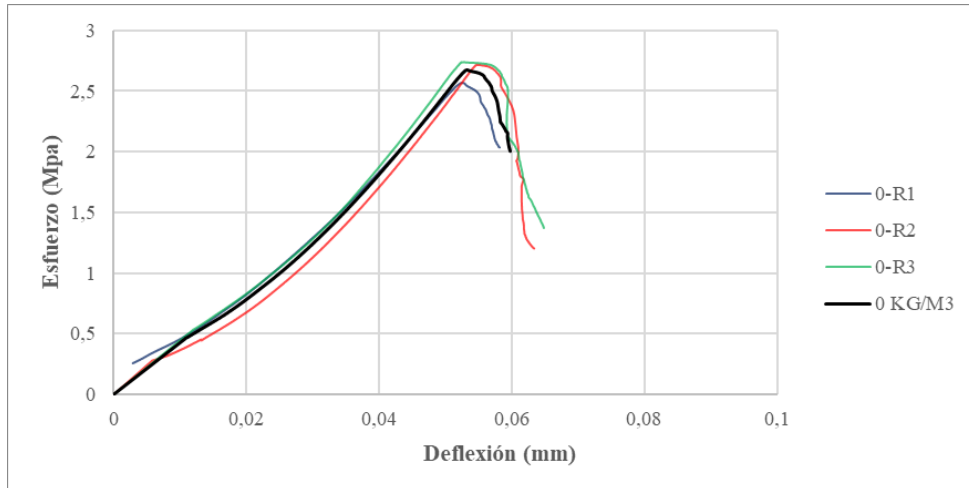
La figura 30 muestra la curva característica, carga – deflexión, para hormigón sin fibras bajo una resistencia de diseño a compresión de 24Mpa, el esfuerzo máximo obtenido es de 2.68 Mpa en una deflexión de 0.05 mm. Los comportamientos de las curvas carga-deflexión y esfuerzo – deflexión (figura 31) resultan prácticamente idénticos.

Figura 30. Curva promedio carga - deflexión para hormigón sin fibras



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 31. Curva promedio esfuerzo - deflexión para hormigón sin fibras



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

3.1.2 Hormigón reforzado con fibra

Las desviaciones estándar de 0.47 para el esfuerzo pico, 0.60 y 0.63 para los esfuerzos en una deformación de 3mm y 0.75mm [25] respectivamente se tomaron como referencia para descartar resultados.

3.1.2.1 Dosificación de 3kg/m³ de fibra

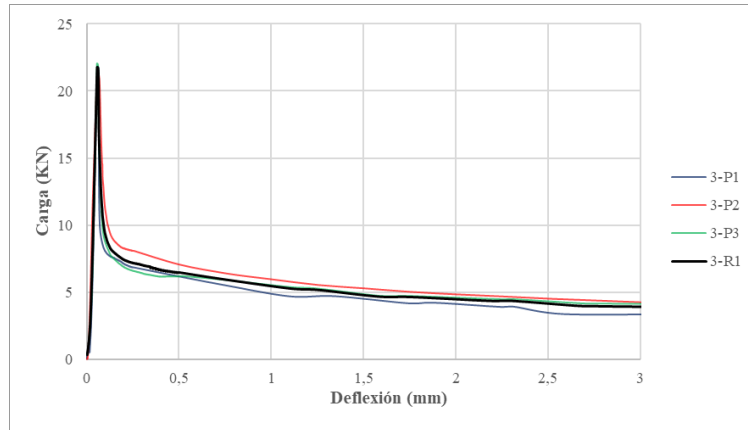
Las tablas 15, 16 y 17 resumen los esfuerzos residuales y deflexiones del hormigón reforzado con 3 kg/m³ de fibra, detallado en 3 resultados (3-R1, 3-R2 y 3-R3), las curvas carga – deflexión se muestran en las figuras 32, 33 y 34 para cada resultado, cabe mencionar que el reporte de cada probeta se encuentra en la sección de Anexos.

Tabla 15. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 3 kg/m³ de fibra (3-R1)

Dosificación de 3 kg/m ³ de fibra (3-R1)							
Probeta	Deflexión	Carga Máxima	Carga (L/600)	Carga (L/150)	Esfuerzo máximo	Esfuerzo (L/600)	Esfuerzo (L/150)
3-P1	0,06	21689,46	5510,01	3353,49	2,85	0,73	0,44
3-P2	0,06	21303,22	6360,05	4242,77	2,78	0,83	0,55
3-P3	0,06	21909,13	5911,67	4139,93	2,84	0,77	0,54
Desviación estandar					0,04	0,05	0,06
Promedio	0,06	21633,94	5927,24	3912,06	2,83	0,77	0,51

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 32. Curva carga - deflexión para hormigón con 3 kg/m³ de fibra (3-R1)



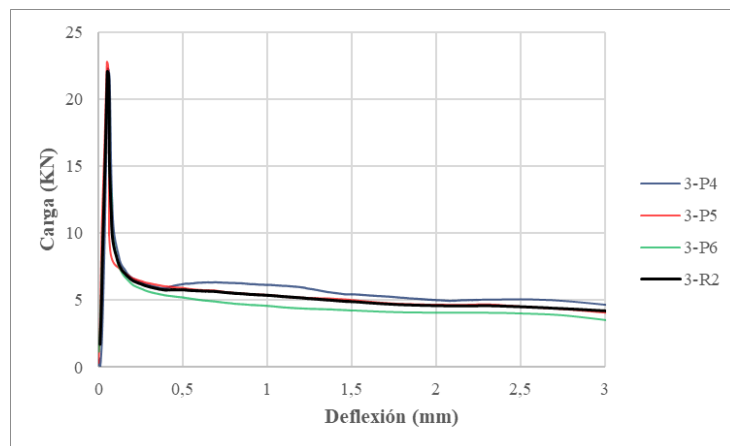
Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Tabla 16. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 3 kg/m³ de fibra (3-R2)

Dosificación de 3 kg/m ³ de fibra (3-R2)							
Probeta	Deflexión	Carga Máxima	Carga (L/600)	Carga (L/150)	Esfuerzo máximo	Esfuerzo (L/600)	Esfuerzo (L/150)
3-P4	0,05	22138,96	6307,60	4926,05	2,89	0,82	0,64
3-P5	0,05	22640,91	5605,70	4026,30	3,06	0,76	0,54
3-P5	0,05	20980,88	4807,15	3644,43	2,78	0,64	0,48
Desviación estandar					0,14	0,10	0,08
Promedio	0,05	21920,25	5573,48	4198,93	2,91	0,74	0,56

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 33. Curva carga - deflexión para hormigón con 3 kg/m³ de fibra (3-R2)



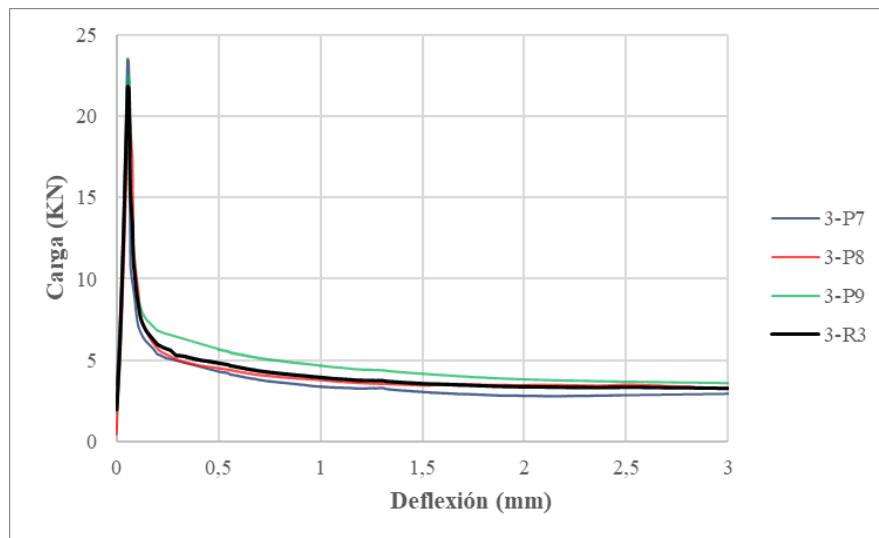
Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Tabla 17. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 3 kg/m³ de fibra (3-R3)

Dosificación de 3 kg/m ³ de fibra (3-R3)							
Probeta	Deflexión	Carga Máxima	Carga (L/600)	Carga (L/150)	Esfuerzo máximo	Esfuerzo (L/600)	Esfuerzo (L/150)
3-P7	0,05	23395,90	3685,00	2925,60	3,10	0,49	0,39
3-P8	0,05	19341,20	4022,28	3262,05	2,60	0,54	0,44
3-P9	0,06	22341,77	5028,41	3583,59	3,02	0,68	0,48
Desviación estandar					0,27	0,10	0,05
Promedio	0,05	21692,96	4245,23	3257,08	2,90	0,57	0,44

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 34. Curva carga - deflexión para hormigón con 3 kg/m³ de fibra (3-R3)



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Los esfuerzos y deflexiones promedios del hormigón reforzado con 3 kg/m³ de fibra se detallan en la tabla 18, la curva carga-deflexión y esfuerzo – deflexión se presentan en las figuras 35 y 36 respectivamente, la deflexión en el punto de rotura es de 0.05mm donde se presenta el esfuerzo máximo de 2.88 Mpa, el esfuerzo residual en una deformación de 0.75mm es de 0.69 Mpa, mientras que para 3mm se presenta un esfuerzo de 0.50 mm.

Tras el esfuerzo máximo, la curva se caracteriza por una zona de reblandecimiento, común en cantidades bajas de fibra.

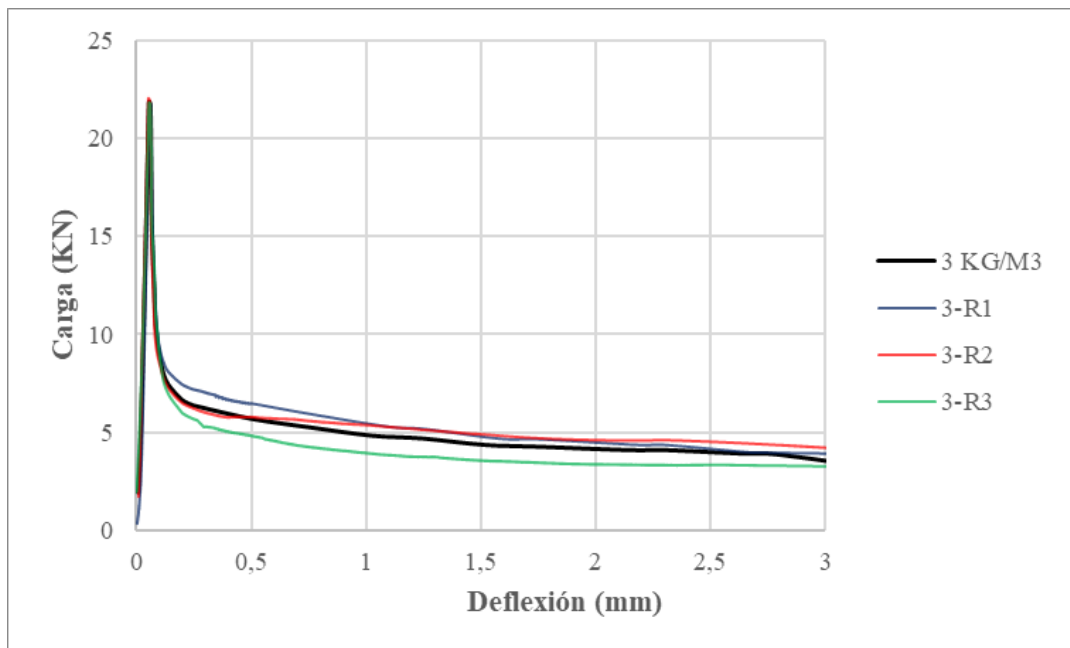
Tabla 18. Promedio de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 3 kg/m³ de fibra

Dosificación de 3 kg/m ³ de fibra							
Resultado	Deflexión	Carga Máxima	Carga (L/600)	Carga (L/150)	Esfuerzo máximo	Esfuerzo (L/600)	Esfuerzo (L/150)
3-R1	0,06	21633,94	5927,24	3912,06	2,83	0,77	0,51
3-R2	0,05	21920,25	5573,48	4198,93	2,91	0,74	0,56
3-R3	0,05	21692,96	4245,23	3257,08	2,90	0,57	0,44
Desviación estandar					0,05	0,11	0,06
Promedio	0,05	21749,05	5248,65	3789,36	2,88	0,69	0,50

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

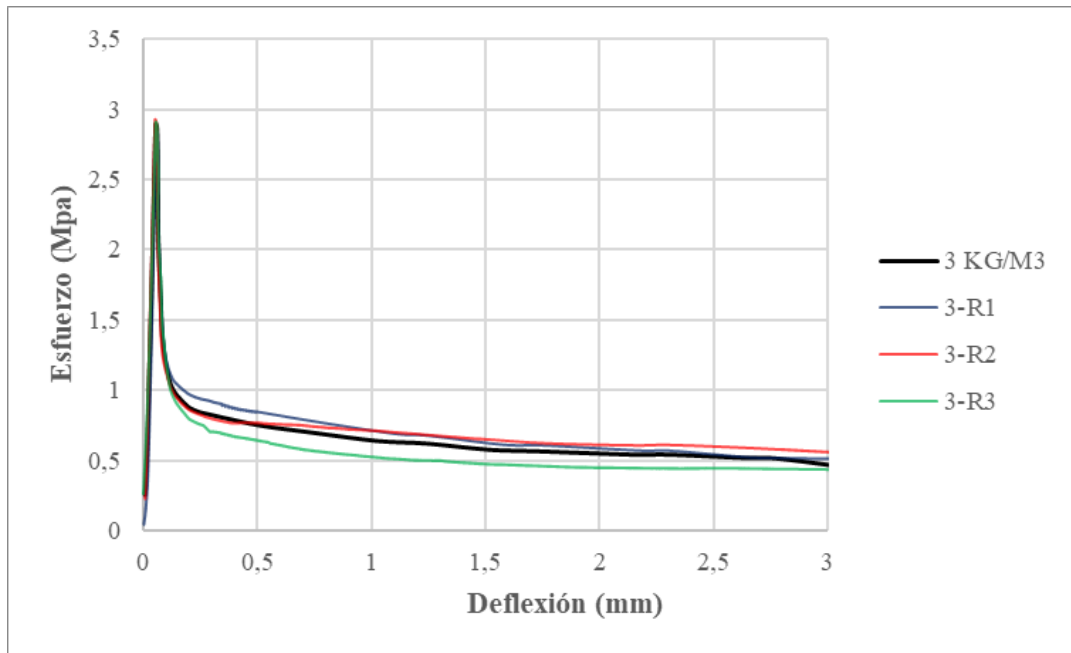
Es notorio que tras producirse la carga pico, la capacidad para resistir decae hasta que nuevamente es retomada por las fibras, se aprecia una gran ductilidad tras el punto de rotura, permitiendo que la probeta presente mayor capacidad para deformarse, el ensayo ASTM 1609 recomienda llegar a una deflexión de 3 mm para probetas de 500 mm para evaluar el desempeño de la fibra, sin embargo esto no significa que la máxima deflexión sea 3mm

Figura 35. Curva promedio carga - deflexión para hormigón con 3 kg/m³ de fibra



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 36. Curva promedio esfuerzo-deflexión para SNFRC con 3 kg/m³



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

3.1.2.1 Dosificación de 6kg/m³ de fibra

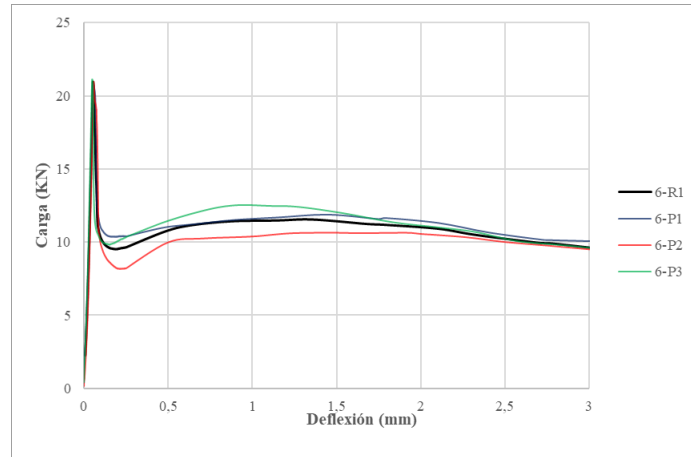
Las tablas 19, 20 y 21 resumen las deflexiones y esfuerzos residuales de los resultados del ensayo, asimismo, las figuras 37, 38 y 39 describen el comportamiento del hormigón reforzado con 6 kg/m³ de fibra mediante la relación carga-deflexión.

Tabla 19. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 6 kg/m³ de fibra (6-R1)

Dosificación de 6 kg/m ³ de fibra (6-R1)							
Probeta	Deflexión	Carga Máxima	Carga (L/600)	Carga (L/150)	Esfuerzo máximo	Esfuerzo (L/600)	Esfuerzo (L/150)
6-P1	0,05	20964,58	11013,35	10070,55	2,74	1,44	1,32
6-P2	0,06	21128,29	10220,85	9507,80	2,82	1,36	1,27
6-P3	0,05	21277,07	12256,30	9549,43	2,84	1,63	1,27
Desviación estandar					0,05	0,14	0,03
Promedio	0,05	21123,31	11163,50	9709,26	2,80	1,48	1,29

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 37. Curva carga - deflexión para hormigón con 6 kg/m³ de fibra (6-R1)



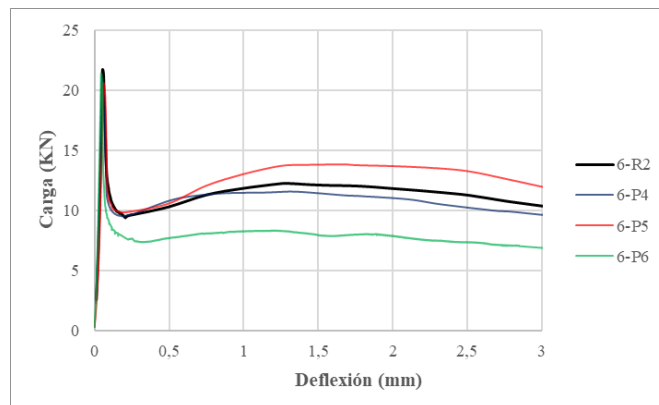
Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Tabla 20. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 6 kg/m³ de fibra (6-R2)

Dosificación de 6 kg/m ³ de fibra (6-R2)							
Probeta	Deflexión	Carga Máxima	Carga (L/600)	Carga (L/150)	Esfuerzo máximo	Esfuerzo (L/600)	Esfuerzo (L/150)
6-P4	0,06	23326,19	13684,27	12264,87	3,03	1,78	1,59
6-P5	0,06	20747,78	12042,68	11963,01	2,73	1,58	1,57
6-P6	0,04	21542,50	8076,67	6879,11	2,87	1,08	0,92
Desviación estandar					0,15	0,36	0,38
Promedio	0,05	21872,16	11267,87	10369,00	2,88	1,48	1,36

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 38. Curva carga - deflexión para hormigón con 6 kg/m³ de fibra (6-R2)



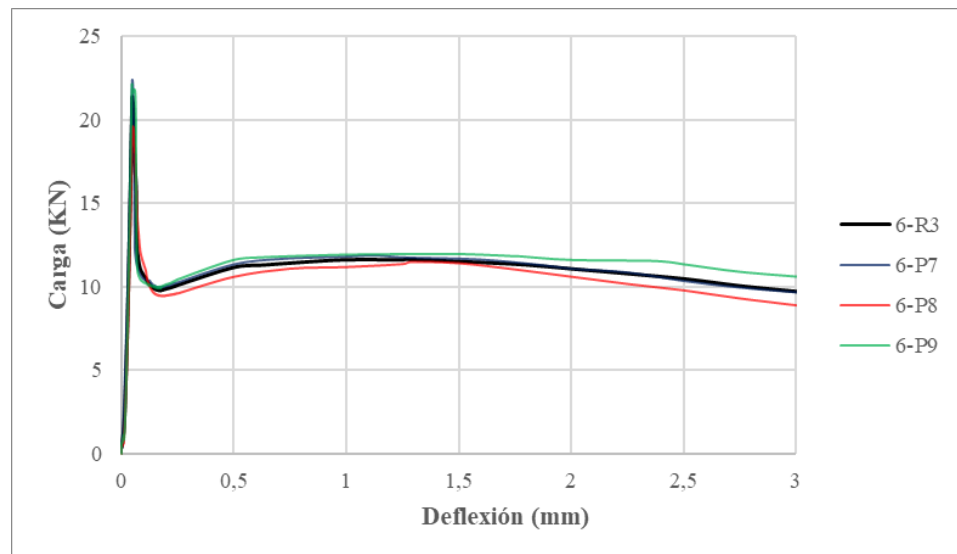
Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Tabla 21. Resumen de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 6 kg/m³ de fibra (6-R3)

Dosificación de 6 kg/m ³ de fibra (6-R3)							
Probeta	Deflexión	Carga Máxima	Carga (L/600)	Carga (L/150)	Esfuerzo máximo	Esfuerzo (L/600)	Esfuerzo (L/150)
6-P7	0,05	22556,90	10938,64	9662,63	3,03	1,47	1,30
6-P8	0,05	19762,95	11068,66	8897,12	2,60	1,46	1,17
6-P9	0,05	22290,82	11457,44	10617,53	2,93	1,51	1,40
Desviación estandar					0,22	0,03	0,11
Promedio	0,05	21536,89	11154,91	9725,76	2,85	1,48	1,29

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 39. Curva carga - deflexión para hormigón con 6 kg/m³ de fibra (6-R3)



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Se presenta una deflexión de 0.05mm en el punto de rotura, acompañado por un esfuerzo máximo de 2.84 Mpa, para una deflexión de 0.75mm el esfuerzo residual es de 1.48 Mpa, y para una deflexión de 3mm se desarrolla un esfuerzo de 1.31 Mpa.

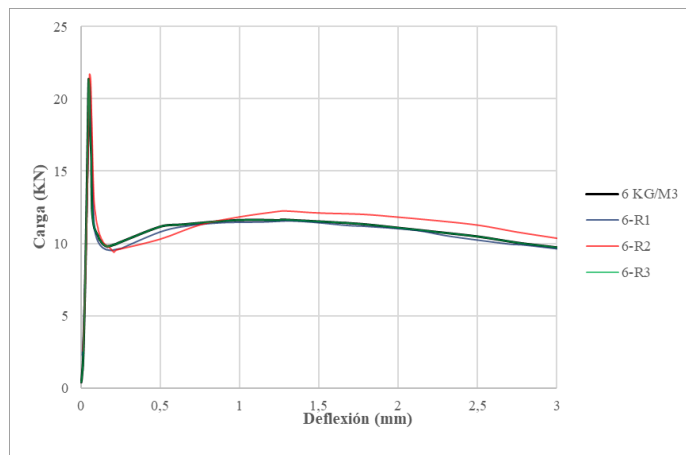
Las figuras 40 y 41 representan el comportamiento del hormigón para 6 kg/m³ de fibra, mediante la curva carga-deflexión y esfuerzo-deflexión, se aprecia que tras producirse la rotura de la probeta, las fibras presentan una zona de ablandamiento ya que pese a producirse esfuerzos relativamente altos, no superan al esfuerzo en el punto de rotura.

Tabla 22. Promedio de esfuerzos residuales y deflexiones para hormigón con dosificación 6 kg/m³ de fibra (6 kg/m³)

Dosificación de 6 kg/m ³ de fibra							
Resultado	Deflexión	Carga Máxima	Carga (L/600)	Carga (L/150)	Esfuerzo máximo	Esfuerzo (L/600)	Esfuerzo (L/150)
6-R1	0,05	21123,31	11163,50	9709,26	2,80	1,48	1,29
6-R2	0,05	21872,16	11267,87	10369,00	2,88	1,48	1,36
6-R3	0,05	21536,89	11154,91	9725,76	2,85	1,48	1,29
Desviación estandar					0,04	0,00	0,04
Promedio	0,05	21510,79	11195,43	9934,67	2,84	1,48	1,31

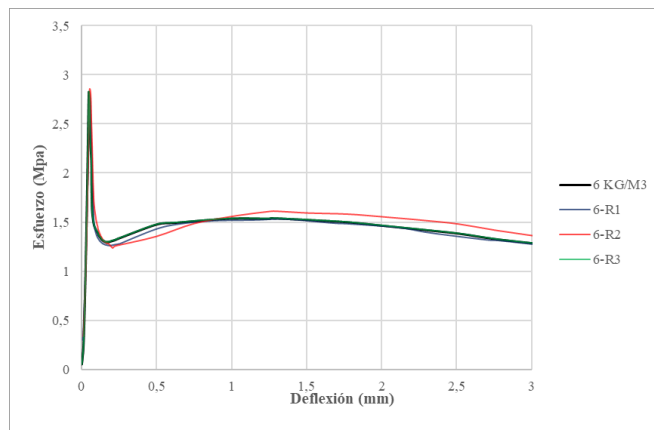
Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 40. Curva promedio carga - deflexión para hormigón con 6 kg/m³ de fibra



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 41. Curva promedio esfuerzo-deflexión para SNFRC con 6 kg/m³



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

3.1.3 Comparación de la fracción volumétrica en el comportamiento del hormigón

En la tabla 23 se resumen los puntos característicos más importantes para el desempeño del hormigón reforzado con diferentes cantidades de fibra.

Tabla 23. Resumen del desempeño de hormigón reforzado con fibras utilizando diferentes fracciones volumétricas

Resumen de los valores promedios para hormigón reforzado con fibras							
Dosificación de fibra	Deflexión	Carga Máxima	Carga (L/600)	Carga (L/150)	Esfuerzo máximo	Esfuerzo (L/600)	Esfuerzo (L/150)
0 kg/m ³	0,05	20242	-	-	2,68	-	-
3 kg/m ³	0,05	21749,05	5248,65	3789,36	2,88	0,69	0,5
6 kg/m ³	0,05	21536,89	11154,91	9725,76	2,85	1,48	1,29

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

La deflexión neta (δ_p) para el hormigón sin fibras presenta un valor de 0.05 mm, al igual que en el hormigón reforzado con 3kg y 6kg por cada m³, la deflexión no presenta variación entre el hormigón común y el reforzado con fibras, esto debido a que las fibras actúan a partir de la rotura del hormigón [6], [31], asimismo la deflexión es la esperada por la ASTM 1609 de 0.05 ±0.01 mm [25]

El esfuerzo pico (f_p), que para todos los resultados obtenidos también es el esfuerzo máximo, presentan un valor menor para el hormigón sin fibra, mientras que para 3 y 6 kg/m³ de fibra se presenta un incremento del 7% con respecto al hormigón simple, similar a lo sucedido en estudios realizados por G.Alberti donde se menciona que el esfuerzo en el punto del límite proporcional aumenta a adicionar fibras de poliolefina, sin embargo, como se mencionó anteriormente, no se deben directamente al uso de fibras[21], [31]

Como era de esperarse las fibras sin refuerzo de fibra no presentan resistencias residuales, presentando una falla frágil; para el hormigón reforzado con 3 kg/m³ se presenta un esfuerzo residual (f_{600}^D) de 0.69 Mpa y para (f_{150}^D) un valor de 0.5 Mpa.

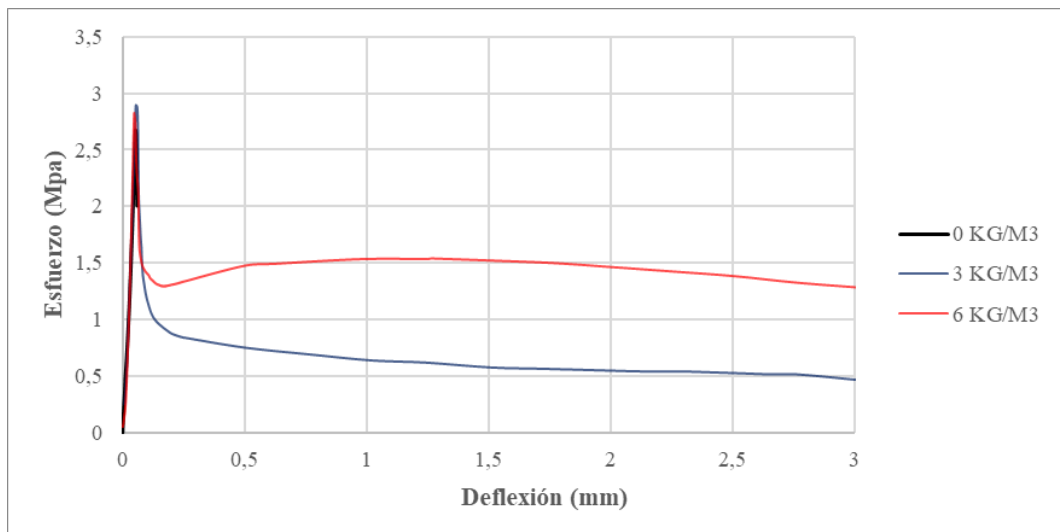
Recomendaciones de la norma EHE-8 sobre el ensayo UNE-EN 14651: La norma EHE-8 establece las recomendaciones para el ensayo UNE-EN 14651 para el estudio del desempeño de las fibras en el hormigón, similar al ensayo propuesto por la normativa ASTM 1609, entre las recomendaciones se puede citar que para $f_{R,1,K}$ y $f_{R,3,K}$ correspondientes a las resistencias residuales para un CMOD (abertura de la

entalla) de 0.5mm y 2.5mm respectivamente, debe presentarse una resistencia mínima de 40% y 20% de la resistencia en el punto de rotura para ser considerada con función estructural. [16], dichos valores, se tomarán en cuenta en el presente estudio para definir si las diferentes fracciones volumétricas presentan función estructural, es decir que para (f_{600}^D) y (f_{150}^D) se deberán presentar resistencias superiores al 40% y 20% del esfuerzo máximo respectivamente para que la fracción volumétrica estudiada presente función estructural.

Para 3 kg/m³ de fibra se presenta una resistencia del 24% y 17% para (f_{600}^D) y (f_{150}^D) del esfuerzo máximo respectivamente, por lo que tendría resistencias menores al 40% y 20% del esfuerzo máximo, concluyéndose que el hormigón reforzado con 3kg/m³ de fibra de polipropileno/polietileno no tiene función estructural. En el caso del hormigón con 6 kg/m³ de fibra se presenta una resistencia del 52% y 45% para (f_{600}^D) y (f_{150}^D) , la cual presentaría esfuerzos idóneos para ser considerada con función estructural.

Al observar la figura 42, y como se mencionó anteriormente, el hormigón sin refuerzo permite esfuerzos hasta el punto de rotura, mientras que el SNFRC (Hormigón reforzado con fibras sintéticas) permiten esfuerzos residuales tras la rotura, lo que da paso a una ductilidad mucho mayor, pudiendo ser cuantificada mediante la energía de rotura que se estudiará en el apartado siguiente.

Figura 42. Curva esfuerzo-deflexión para hormigón con 0, 3 y 6 kg/m³ de fibra

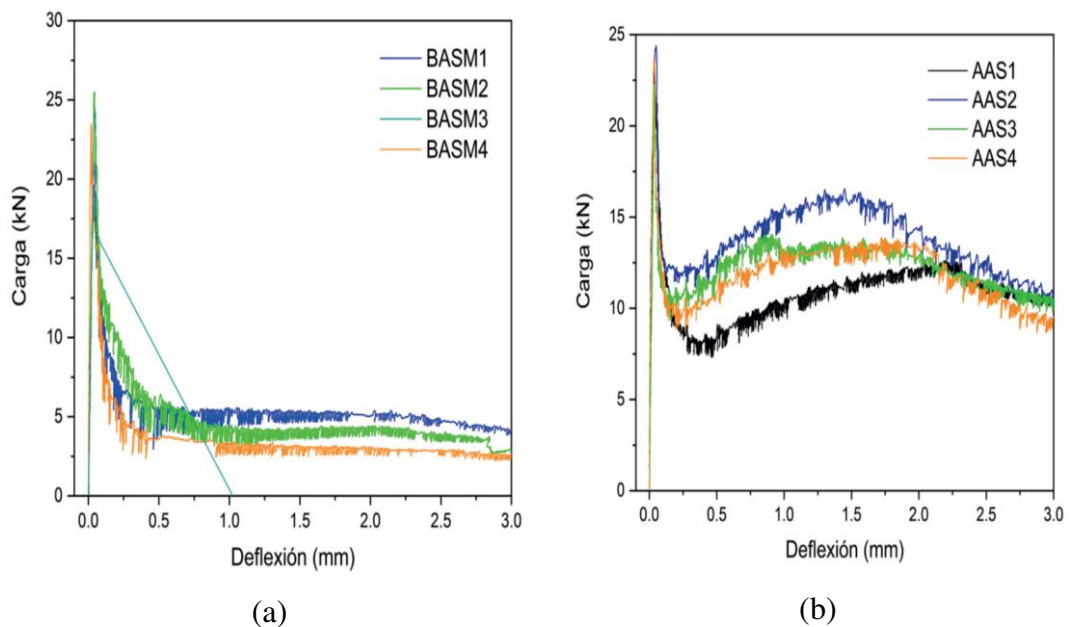


Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

El SNFRC con dosificaciones de 3 y 6 kg, para la fibra empleada, únicamente arrojan comportamiento de reblandecimiento al no superar el esfuerzo pico, asimismo la carga mínima L_{min} es más baja para 3kg/m³ de fibra y, para 6kg/m³ la carga no decae en gran medida. Por otra parte, el área bajo la curva para 6 kg/m³ es evidentemente mayor con respecto a 3kg/m³ de fibra; no está de más mencionar que el área bajo la curva proporciona más ductilidad a las probetas, lo que se traduce en un aumento considerable de la tenacidad y por ende, de la energía de fractura.

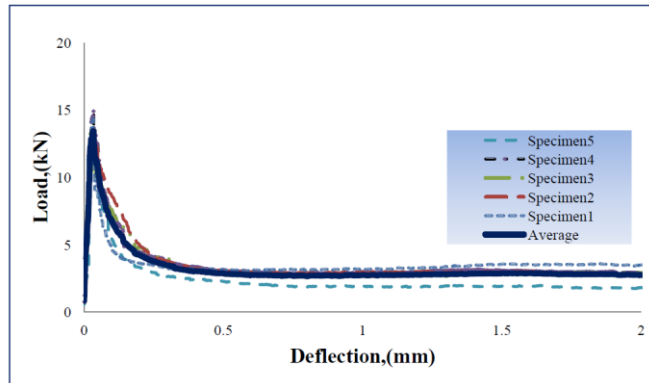
La figura 43 y 44 muestran el comportamiento del hormigón con diferentes cantidades de fibra [32][33] usando el ensayo ASTM 1609, arrojando un comportamiento similar al obtenido en el presente estudio, al tomar en cuenta que cantidades bajas de fibra producen zonas de reblandecimiento, asimismo se destaca la figura 43 que muestra que la carga mínima está determinada por la fracción volumétrica usada, comportamiento similar al de la figura 42.

Figura 43. Comportamiento de SNFRC- ASTM1609 (a) 1.5kg/m³ (b) 5.5 kg/m³



Fuente: F. Villalobos and K. J. Paniagua Murillo, “Evaluación de una modificación en la norma ASTM C1609 para el estudio de concreto reforzado con fibras sintéticas sometido a flexión [32]

Figura 44. Carga vs Deflexión para 3.0 kg/m³ de fibra



Fuente: S. T. Islam, “Study of Some Parameters Affecting the Measured Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete,” [33]

3.2 Energía de fractura

En la tabla 24, 25 y 26 se presenta la tenacidad como las áreas bajo la curva ($\int Pds$) para hormigón sin fibras y SNFRC de 3 y 6 kg/m³ y su respectiva energía de fractura (G_f) correspondientemente, la sección de Anexos correspondiente al ensayo de flexión contiene el área de fractura de cada probeta necesaria para determinar (G_f). Si bien la energía de fractura se detalla hasta una deflexión de 3mm, la deflexión que puede presentarse en el SNFRC es mayor.

Tabla 24. Trabajo y energía de fractura para hormigón sin fibras

Probeta	$\int Pds$ (rotura) KN-mm	G_f (rotura) N/m
0-P1	0,46	20,51
0-P2	0,48	21,02
0-P3	0,49	21,79
0-P4	0,58	25,02
0-P5	0,36	16,13
0-P6	0,47	20,57
0-P7	0,45	19,41
0-P8	0,50	21,89
0-P9	0,47	20,81
Desviación estandar	0,06	2,34
Promedio	0,47	20,80

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Tabla 25. Trabajo y energía de fractura para SNFRC (3 kg/m³)

Probeta	$\int Pds$ (rotura) KN-mm	$\int Pds$ (1mm) KN-mm	$\int Pds$ (3mm) KN-mm	G_f (rotura) N/m	G_f (1mm) N/m	G_f (3mm) N/m
3-P1	0,41	6,35	14,19	17,81	275,06	614,54
3-P2	0,56	7,67	17,50	23,86	328,00	747,97
3-P3	0,41	6,59	15,74	17,83	285,37	681,19
3-P4	0,39	6,81	17,26	16,85	291,30	737,96
3-P5	0,59	6,54	15,87	26,12	288,64	700,94
3-P6	0,54	5,95	14,09	23,56	261,03	618,15
3-P7	0,65	5,12	11,02	28,50	224,49	483,48
3-P8	0,48	5,39	12,33	21,19	236,31	540,94
3-P9	0,60	6,39	14,25	26,83	284,09	633,66
Desviación estandar	0,09	0,76	2,14	4,31	31,01	88,13
Promedio	0,52	6,31	14,70	22,51	274,92	639,87

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Tabla 26. Trabajo y energía de fractura para SNFRC (6 kg/m³)

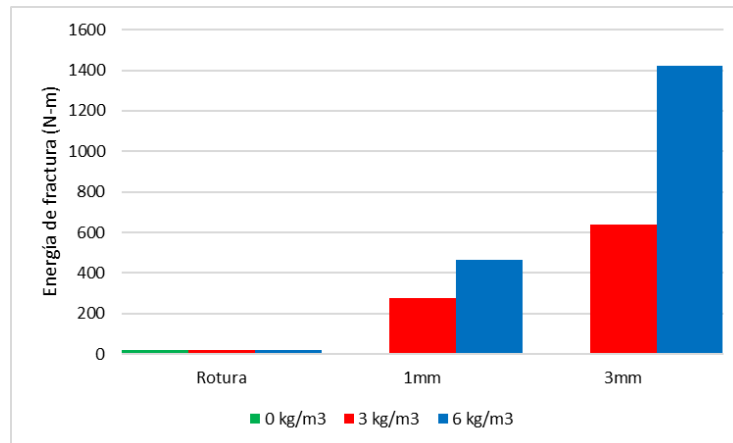
Espécimen	$\int Pds$ (rotura) KN-mm	$\int Pds$ (1mm) KN-mm	$\int Pds$ (3mm) KN-mm	G_f (rotura) N/m	G_f (1mm) N/m	G_f (3mm) N/m
6-P1	0,51	10,86	32,06	22,04	467,32	1379,43
6-P2	0,50	9,76	30,27	22,23	436,91	1354,57
6-P3	0,39	8,16	30,27	14,06	425,63	1319,61
6-P4	0,56	12,89	40,28	24,25	557,98	1743,74
6-P5	0,48	11,09	37,78	21,43	493,03	1679,21
6-P6	0,39	8,16	23,57	17,17	362,58	1047,67
6-P7	0,45	10,93	32,60	19,54	476,19	1420,67
6-P8	0,35	10,52	31,25	15,46	458,29	1361,62
6-P9	0,35	11,19	33,77	15,28	490,68	1481,31
Desviación estandar	0,08	1,51	4,76	3,67	53,69	204,26
Promedio	0,44	10,39	32,43	19,05	463,18	1420,87

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

En los puntos de rotura de la probeta para SNFRC con 0, 3 y 6 kg/m³ no se observan aumentos importantes de tenacidad, mientras que para 1 mm se observa un aumento de 13 y 22 veces para 3 y 6 kg/m³ de fibra con respecto al hormigón sin fibra. Se destaca también que si bien la dosificación de 6kg/m³ es del doble que la de 3, no significa que la energía de fractura va a aumentar al doble, puesto que las propiedades del SNFRC dependen del conjunto matriz-fibra [6]

En la deflexión de 3 mm las probetas con 3 y 6 kg/m³ de fibra presentan aumentos de 31 y 68 veces de la energía de fractura con respecto al hormigón sin refuerzo.

Figura 45. Energía de fractura para hormigón sin fibra y SNFRC de 3 y 6 kg/m³



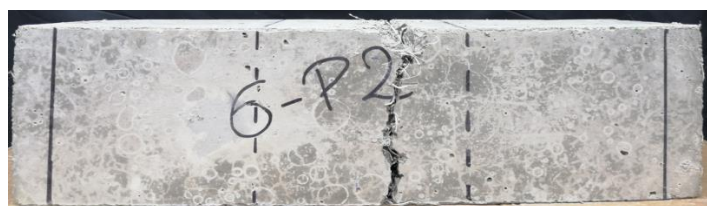
Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

La figura 45 evidencia que el SNFRC permite una ductilidad mucho mayor con respecto al hormigón simple, gracias a la energía que absorben las fibras en la matriz del hormigón.

3.3 Conteo de fibras

En las probetas con refuerzo de fibra se realizó el conteo de fibra con el objetivo de encontrar el coeficiente de orientación en la cara de fractura, para el conteo es necesario observar tres diferentes tipologías que puede tener la fibra en la matriz de hormigón tras la rotura de la probeta: fibras rotas, deslizadas y mal posicionadas, las primeras corresponden a las fibras que se han roto por acción de la tracción en la matriz de hormigón, el deslizamiento se produce cuando la fibra no ha tenido adherencia con el hormigón y prácticamente no han cambiado sus características iniciales, las fibras mal posicionadas corresponden a las situadas paralelamente a la dirección de fractura.

Figura 46. Probeta 6-P2 ensayada



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

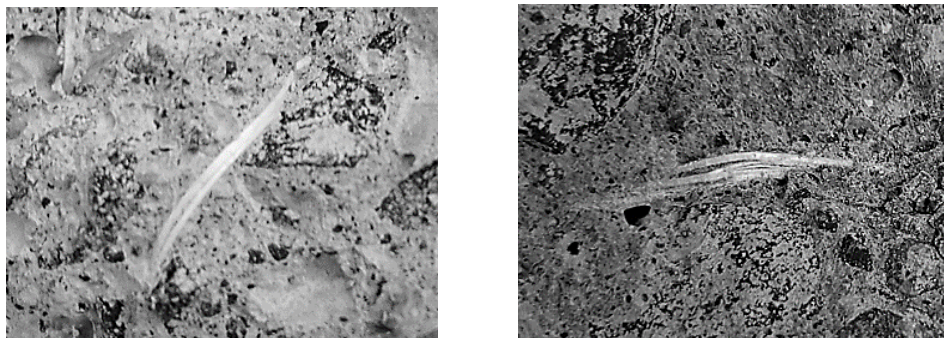
Figura 47. Fallas en las fibras (a) Rotura (b) Deslizamiento (c) Mal situada



(a)



(b)



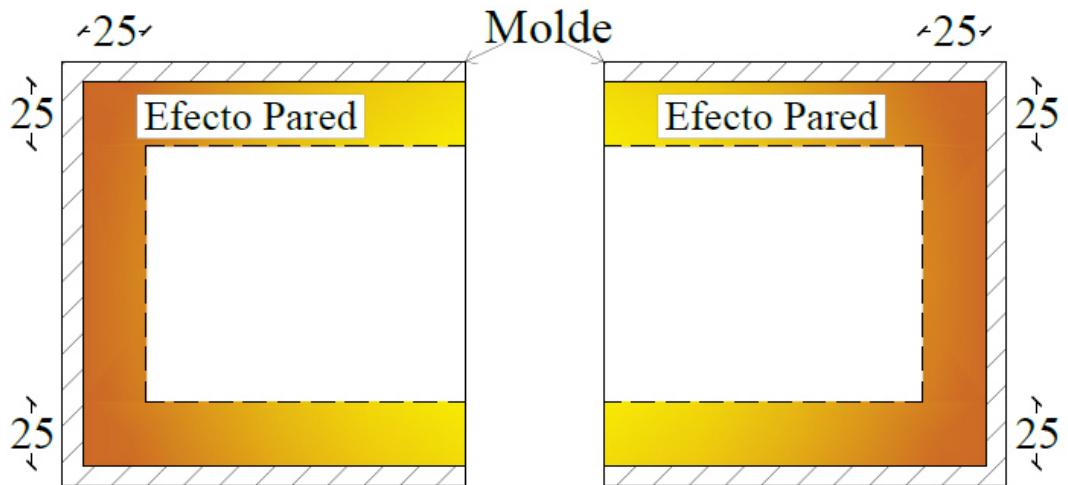
(c)

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

El conteo conlleva a dividir la cara de fractura de la probeta en diferentes áreas afectadas por el efecto pared, dado que la longitud del efecto pared corresponde a la mitad de la longitud de la fibra, se utiliza un valor de 25 mm para el presente trabajo,

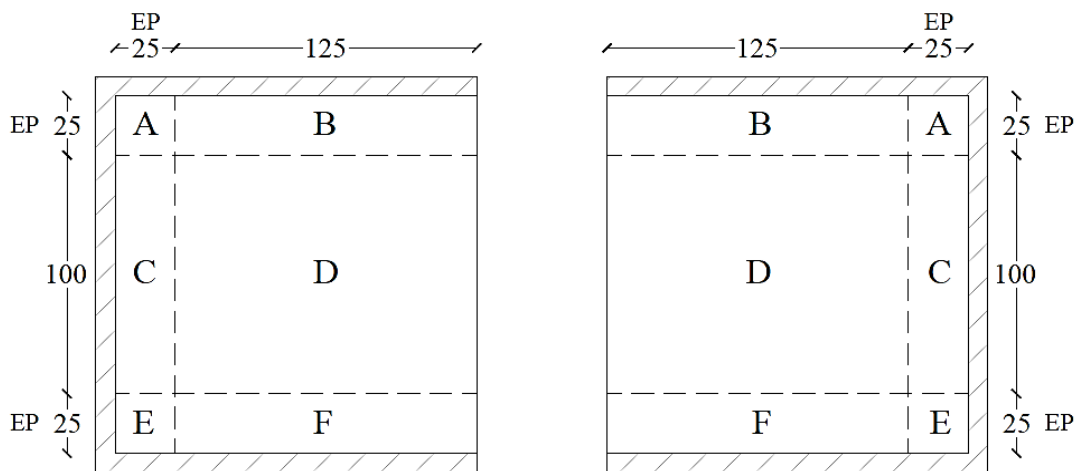
como se observa en la figura 48 y separando en 6 secciones la cara de fractura de la probeta (figura 49)

Figura 48. Efecto pared



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 49. Áreas de estudio para el conteo de fibras.



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

La zonas A y E se caracteriza por un doble efecto pared producido por el molde en el momento de fundición, B,C y F se caracterizan por el efecto de un único lateral de la probeta, mientras que la zona D, es una sección libre.

El conteo de fibras al realizarse para diferentes áreas de la sección conlleva que se presenten diferentes coeficientes de orientación para cada zona, y al contabilizar el total, un único coeficiente de orientación de la zona de fractura

Figura 50. Trazado de las zonas de estudio para el conteo de fibras



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

En la Tabla 27 se presenta un resumen de los coeficientes de orientación obtenidos de las probetas ensayadas, destacándose el valor promedio en la cara de fractura y en sus 6 diferentes zonas.

Tabla 27. Resumen del coeficiente de orientación de las probetas ensayadas

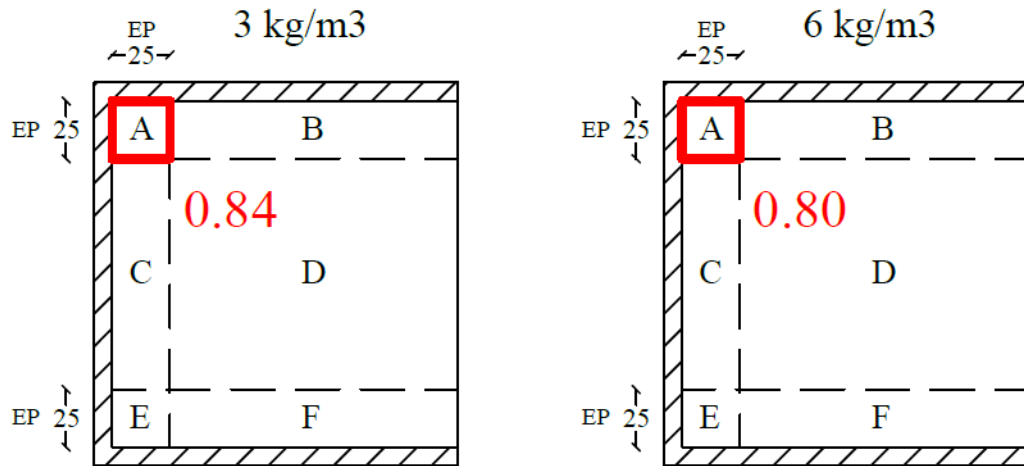
Zona	3-R1	3-R2	3-R3	Θ Promedio (3kg/m ³)	6-R1	6-R2	6-R3	Θ Promedio (6kg/m ³)
Θ (A)	0,80	0,87	0,87	0,84	0,82	0,82	0,76	0,80
Θ (B)	0,51	0,59	0,46	0,52	0,45	0,53	0,49	0,49
Θ (C)	0,67	0,49	0,48	0,55	0,73	0,65	0,52	0,63
Θ (D)	0,47	0,39	0,38	0,41	0,35	0,37	0,42	0,38
Θ (E)	0,73	0,73	0,73	0,73	0,79	0,94	0,64	0,79
Θ (F)	0,52	0,47	0,49	0,49	0,47	0,44	0,43	0,44
Θ (Plano de Fractura)	0,52	0,46	0,44	0,47	0,45	0,46	0,46	0,46

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

3.3.1 Coeficiente de orientación (Zona A)

La superficie se ve influenciada por el efecto pared en los dos lados del molde, presenta un coeficiente (Θ) de 0.84 para la probeta de 3 kg/m³ y 0.80 para 6 kg/m³.

Figura 51. Coeficiente de orientación en la zona A

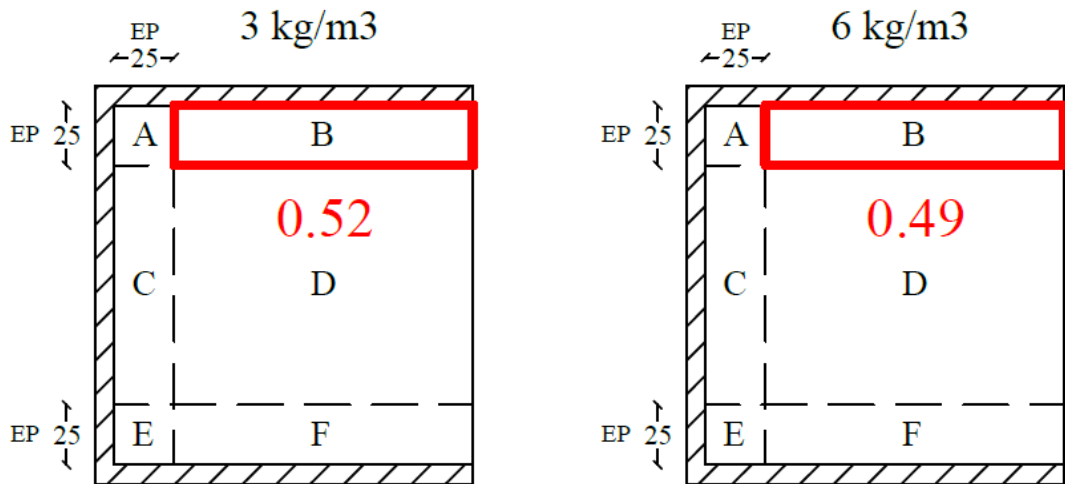


Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

3.3.2 Coeficiente de orientación (Zona B)

En esta sección interviene el efecto pared de un costado lateral del molde, el valor es de 0.52 para 3kg/m³ y 0.49 para 6 kg/m³

Figura 52. Coeficiente de orientación en la zona B

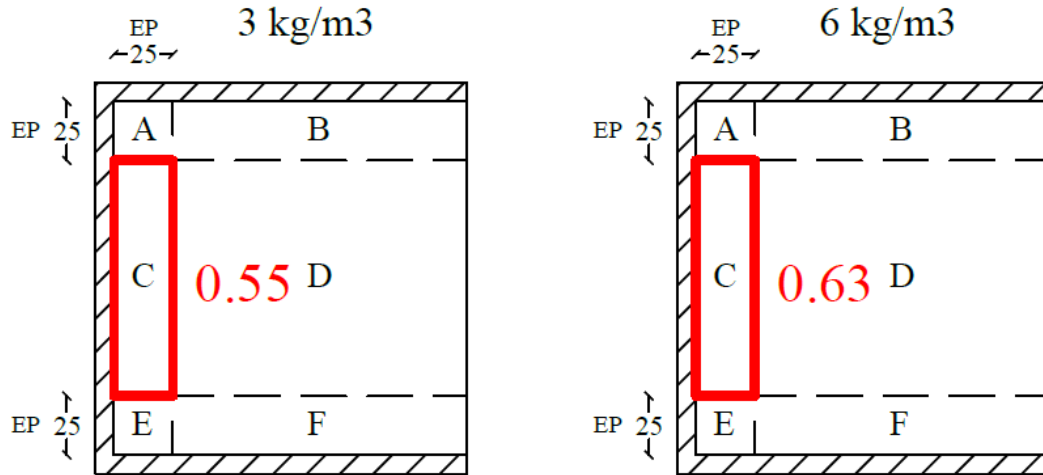


Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

3.3.3 Coeficiente de orientación (Zona C)

El efecto pared que influencia en esta zona corresponde a la base del molde, se presentan valores de 0.55 y 0.63 para 3 y 6kg/m³ correspondientemente

Figura 53. Coeficiente de orientación en la zona C

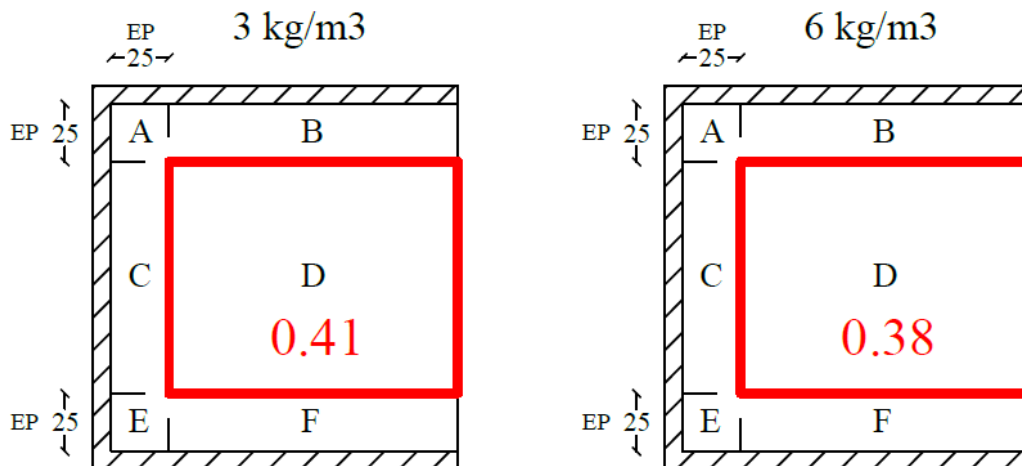


Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

3.3.4 Coeficiente de orientación (Zona D)

Esta área se caracteriza por no estar influenciada por el efecto pared y presenta valores bajos para el coeficiente de orientación, se obtuvo un valor de 0.41 para la dosificación de 3 kg/m³ y 0.38 para 6 kg/m³.

Figura 54. Coeficiente de orientación en la zona D

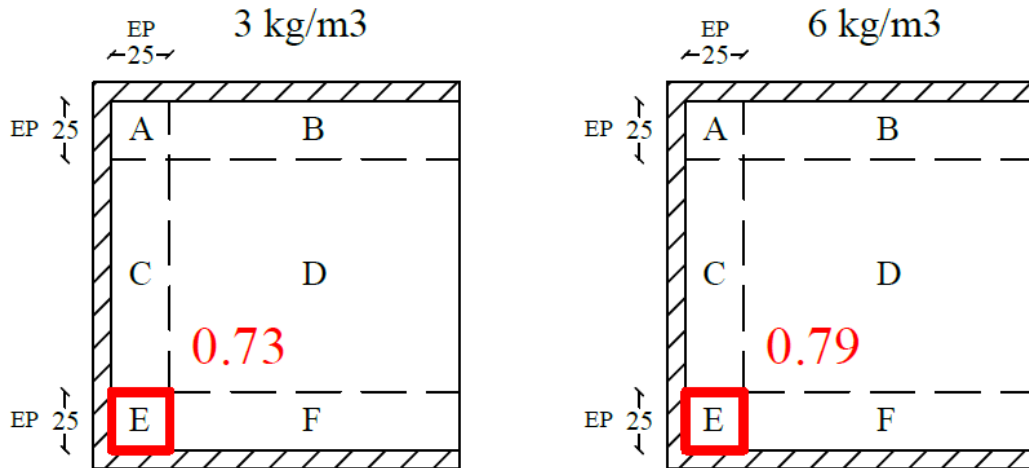


Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

3.3.5 Coeficiente de orientación (Zona E)

Esta zona se ve influenciada por el mismo efecto de la zona A, presenta un doble efecto pared, el coeficiente de orientación para la dosificación de 3 kg/m^3 es de 0.73, mientras que para 6 kg/m^3 un valor de 0.79

Figura 55 . Coeficiente de orientación en la zona E

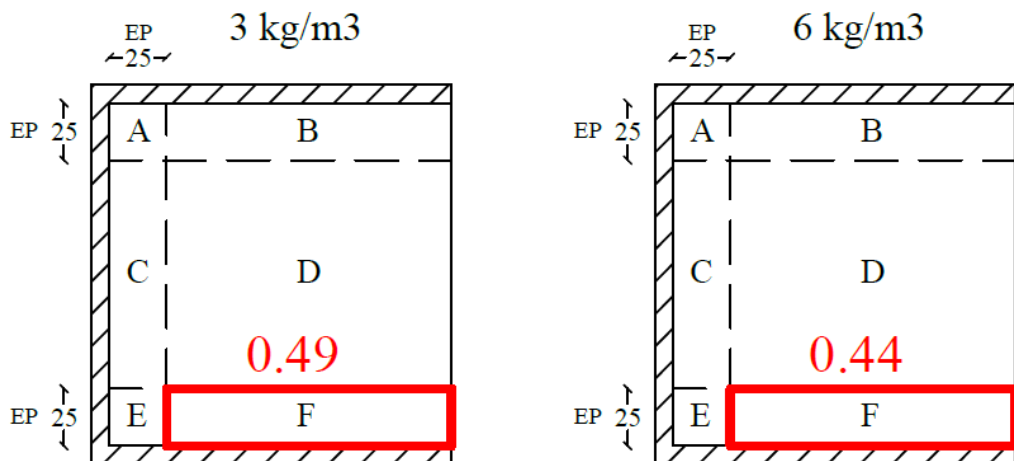


Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

3.3.6 Coeficiente de orientación (Zona F)

Presenta el mismo efecto que la zona B, un lateral del molde actúa como efecto pared, el coeficiente es de 0.49 y 0.44 para las dosificaciones de 3 y 6 kg/m^3 correspondientemente.

Figura 56. Coeficiente de orientación en la zona F

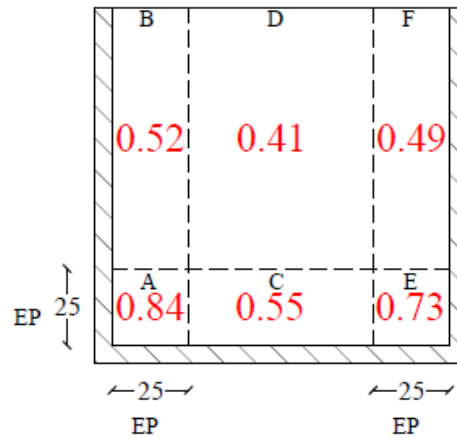


Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

3.3.7 Resumen del coeficiente de orientación en el plano de fractura

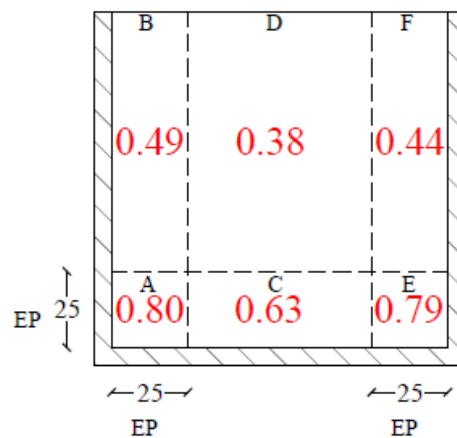
En las figuras siguientes se representan los valores del coeficiente de orientación en el plano de rotura de la probeta para las dosificaciones de 3 y 6 kg/m³

Figura 57. Resumen del coeficiente de orientación (3 kg/m³)



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 58. Resumen del coeficiente de orientación (6 kg/m³)

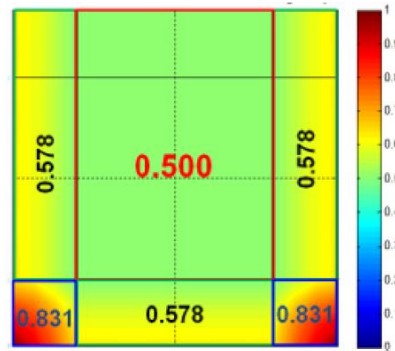


Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

En la propuesta realizada por G. Alberti [5][18] se menciona un modelo matemático que propone valores para determinadas zonas de la sección de hormigón reforzado con fibras, haciéndose evidente que el efecto pared aumenta el coeficiente de orientación en el área de estudio, al igual que los estudios realizados por (A. Curi, J. Gálvez, and M. García) [34] (W. Ramírez, J. Gálvez, M. Alberti, and A. Díaz) [35]; en los resultados para la dosificación de 3 y 6 kg/m³ se evidencia que los valores más altos del coeficiente de orientación se dan en las Zonas A y E, lugares donde interviene un

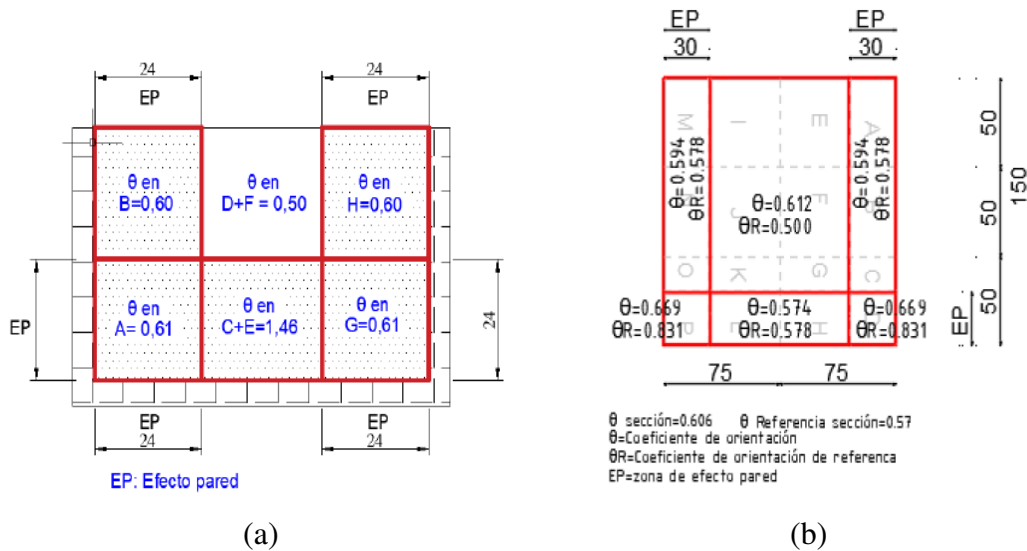
doble efecto pared, las áreas B, C y F presentan valores intermedios, y la zona D corresponde a la superficie donde se obtiene el coeficiente de orientación más bajo al no estar influenciado por el efecto pared.

Figura 59. Coeficientes teóricos de orientación



Fuente: M. García Alberti, Polyolefin fibre-reinforced concrete: from material behaviour to numerical and design considerations. [18]

Figura 60. Coeficientes de orientación de diferentes estudios



Fuente: (a) A. Curi, J.Gálvez, and M.García, “Estudio del efecto tamaño en el comportamiento a flexión de elementos de hormigón reforzado con fibras de poliolefina” [34] (b) W. Ramírez, J.Gálvez, M.Alberti, and A. Díaz, “Fractura en modo mixto (tracción y cortante) de elementos de hormigón reforzado con fibras,” [35]

La dosificación de 3 kg/m³ presenta un coeficiente de orientación para el plano de fractura de 0.47, mientras que la dosificación de 6 kg/m³ un valor de 0.46

3.4 Comportamiento a compresión

Si bien en el presente trabajo no se contempló el estudio de la resistencia a compresión, también se lo realizó debido a que hubo excedente de fibra.

La tabla 61 muestra la resistencia a compresión a los 28 días del hormigón simple y reforzado con 3 y 6 kg/m³ de fibra, obteniéndose para los tres casos resistencias superiores a la de diseño (24 Mpa)

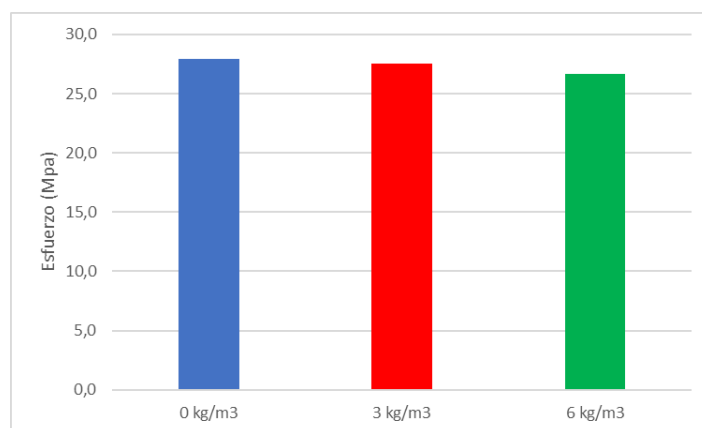
Figura 61. Resistencia a la compresión de hormigón simple y SNFRC

Resistencia a la compresión (28 días) Mpa			
Espécimen	0 kg/m³	3 kg/m³	6 kg/m³
1	27,6	26,6	26,7
2	28,0	28,1	26,7
3	28,1	27,9	26,7
Promedio (Mpa)	27,9	27,5	26,7

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

La resistencia a compresión para el hormigón simple es mayor en comparación con el SNFRC de 3 y 6 kg/m³ de fibra, sin embargo la ACI 544 menciona que, si bien bajas fracciones volumétricas no afectan notoriamente la resistencia a compresión del hormigón, para 0% a 1.5% de fibra por volumen se presentan aumentos en la resistencia a compresión de 0 a 15% [6]. Para 3 kg/m³ de fibra de polipropileno/polietileno se presenta una disminución de la resistencia del 1%, para 6 kg/m³ una disminución de aproximadamente el 4% con respecto al hormigón simple.

Figura 62. Resumen de la resistencia a compresión de hormigón simple y SNFRC

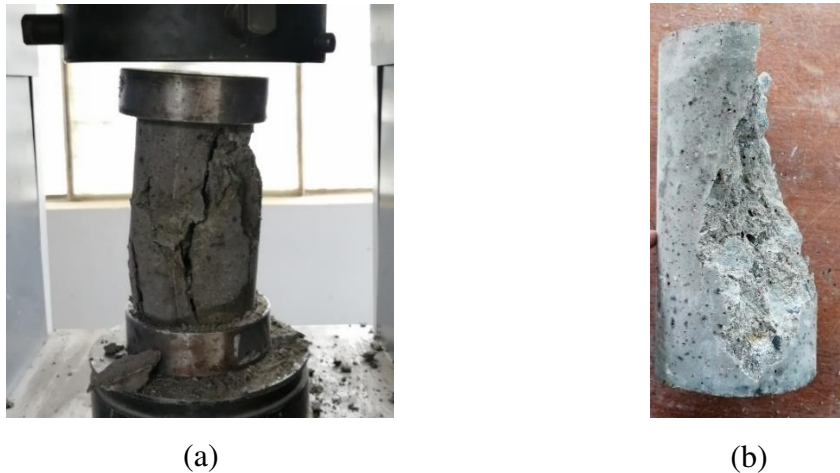


Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

En cuanto a la relación entre la resistencia a tracción por flexión y resistencia a compresión se presenta que, en el hormigón simple es del 9.6%, para 3kg/m³ de fibra del 10.3% y para 6 kg/m³ del 10.2%, valores concordantes con lo mencionado por R. Gutiérrez,2013 y National Ready Mixed Concrete Association,2006, que manifiestan que la resistencia a tracción del hormigón se encuentra entre el 10% y 15% de la resistencia a compresión del hormigón [36], [37]

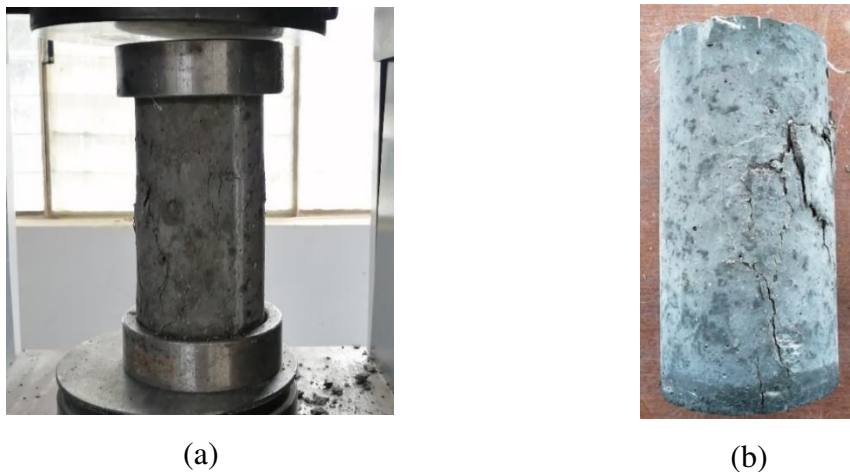
En la figura 63 se observa el comportamiento del hormigón simple a compresión, destacándose que se presenta una falla frágil , mientras que en la figura 64, el hormigón reforzado con fibra evidencia un comportamiento dúctil evitando una falla explosiva.

Figura 63. Hormigón Simple (a) y (b) Ensayo a compresión



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Figura 64. Hormigón Reforzado con fibra (a) y (b) Ensayo a compresión



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se verificó que el hormigón reforzado con fibra de polipropileno/polietileno, permite desarrollar resistencias residuales después de la rotura, traducido en un aumento en la ductilidad del elemento, evitando comportamientos frágiles propios del hormigón sin refuerzo.
- La fracción volumétrica influye proporcionalmente en la resistencia residual generada en el hormigón con fibras.
- La dosificación de 3 kg/m³ de fibra desarrolla una resistencia del 24% y 17% para (f_{600}^D) y (f_{150}^D) del esfuerzo máximo respectivamente, y 6 kg/m³ de fibra presentan una resistencia del 52% y 45% para (f_{600}^D) y (f_{150}^D).
- La dosificación de 3 kg/m³ de fibra de polipropileno/polietileno (Tuf Strand SF) no tiene función estructural, tomando como referencia la normativa EHE-08, mientras que la dosificación de 6 kg/m³ si puede ser considerada con función estructural.
- La adición de fibras aumenta la tenacidad y ductilidad desarrollada en hormigones reforzados con fibra bajo cargas de flexión, aumentando en 13 y 22 veces, la energía de fractura, para 3 y 6 kg/m³ de fibra con respecto al hormigón sin fibra en una deflexión de 1mm; en deflexiones de 3mm aumenta en 31 y 68 veces para 3 y 6 kg/m³ de fibra respectivamente.
- El conteo de fibras muestra que la distribución de las fibras dentro de la matriz de hormigón no es uniforme, evidenciándose que zonas afectadas por el “Efecto pared” tienden a aumentar su coeficiente de orientación.
- La forma y textura de la fibra influye de manera significativa en el coeficiente de orientación, por el modo en que esta pueda fallar en la matriz de hormigón.
- El coeficiente de orientación en el plano de fractura obtenido para el hormigón de 3 y 6 kg/m³ de fibra fue de 0.47 y 0.46 correspondientemente.
- Se verifica que la resistencia a compresión no se ve afectada en gran medida al incorporar bajas fracciones volumétricas de fibra de polipropileno/polietileno (Tuf Strand SF) en el hormigón, obteniéndose una disminución de la resistencia

a compresión con respecto al hormigón simple del 1% y 6% para 3 y 6kg/m³ de fibra respectivamente.

- Se encontró que la relación entre la resistencia a tracción por flexión y resistencia a compresión, fue del 9.6%, 10.3% y 10.2% para hormigón simple, 3 y 6 kg/m³ de fibra respectivamente.

4.2. Recomendaciones

- La elección de fibras que cumplan los requisitos para ser consideradas con función estructural es necesaria para un correcto uso.
- Contemplar el hecho de que la adición de fibras producen pérdidas en la consistencia de la mezcla, siendo necesario recurrir a las indicaciones del fabricante sobre las recomendaciones de plastificantes y superplastificantes.
- El coeficiente de orientación es un factor a tomar en cuenta a la hora de elaborar elementos, como lo son los prefabricados, pudiéndose colocar estratégicamente la zona donde se producirá el efecto pared en puntos donde se desarrollará mayor flexión en el elemento.
- Es necesario profundizar el estudio del desempeño de fibras en el hormigón, ya sea utilizando diferentes tipos de fibra o fracciones volumétricas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Millán, *COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU INFLUENCIA EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA*. 2013.
- [2] L. Silva and V. Paredes, “Comportamiento Del Hormigón Reforzado Con Fibras De Acero Y Su Influencia En Sus Propiedades Mecánicas En El Cantón Ambato, Provincia De Tungurahua.,” pp. 36–63, 2014, [Online]. Available: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3%0Ahttps://bit.ly/3wA169K>.
- [3] I. Reyes and S. Carmona, “CARACTERIZACION DEL COMPORTAMIENTO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO TIPO 3D, 4D Y 5D, USANDO ENSAYO ASTM C1609.,” *Inf. la Construcción*, vol. 34, no. 342, pp. 5–17, 2016, doi: 10.3989/ic.1982.v34.i342.2079.
- [4] ACI 544.4R, *Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete (ACI 544.4R)*. 2018.
- [5] M. G. Alberti, A. Enfedaque, J. C. Gálvez, and V. Agrawal, “Fibre distribution and orientation of macro-synthetic polyolefin fibre reinforced concrete elements,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 122, pp. 505–517, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.083.
- [6] ACI 544, “Report on Fiber Reinforced Shotcrete.,” *Concr. Int.*, vol. 6, no. 12, pp. 15–27, 2002.
- [7] Euclid - Toxement, “Tuf Strand SF - Fibras sintéticas estructurales,” *Euclid - Toxement*, 2021, [Online]. Available: www.toxement.com.co.
- [8] E.-08 Anejo 14, “Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras,” pp. 505–525, 2008.
- [9] Arthur H. Nilson, *Sistemas de construcción para edificios de concreto*. 2001.

- [10] I. Vidaud, Z. Frómeta, and E. Vidaud, “CONTROL DE CALIDAD EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS DE ELEVADO PELIGRO SÍSMICO,” *Cienc. en su PC, №1, enero-marzo, 2019*, 2019.
- [11] NTE INEN 152, “NTE INEN 152: Cemento portland, requisitos,” p. 14, 2012, [Online]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/152-5.pdf>.
- [12] NTE INEN 694, “Hormigón y Áridos para elaborar hormigón terminología,” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, vol. 2007, p. 15, 2010, [Online]. Available: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000_extracto.pdf.
- [13] S. Medina, “Ensayo de Materiales II,” p. 10, 2014, [Online]. Available: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/13279/1/FCHE-EBS-1519.pdf%0Ahttp://es.slideshare.net/Andysebas1/domotica-42887798>.
- [14] Abraham Polanco Rodríguez, “Manual De Laboratorio De Practicas Del Concreto,” vol. 1, pp. 3–71, 2012, [Online]. Available: <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=4af9d954-1628-e49f-5978-5569e4fe2f9b&documentId=0e1748c8-6ae6-3c63-a45d-7202b271811c>.
- [15] R. Zerbino, “El hormigón reforzado con fibras,” pp. 14–18, 2016.
- [16] Comisión Permanente del Hormigón, “Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008,” *Boe Nº 203*, p. 704, 2008.
- [17] J. Mínguez Algarra, D. González Cabrera, and M. Á. Vicente Cabrera, “Influencia de la orientación y la densidad de las fibras en la resistencia a tracción por flexión de hormigones,” *Hormigón y Acero*, vol. 70, no. 287, pp. 15–21, 2017, doi: 10.1016/j.hya.2017.05.007.
- [18] M. García Alberti, *Polyolefin fibre-reinforced concrete: from material behaviour to numerical and design considerations*. 2015.
- [19] L. Martinie and N. Roussel, “Simple tools for fiber orientation prediction in

- industrial practice,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 41, no. 10, pp. 993–1000, 2011, doi: 10.1016/j.cemconres.2011.05.008.
- [20] D. Dupont and L. Vandewalle, “Distribution of steel fibres in rectangular sections,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, no. 3, pp. 391–398, 2005, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2004.03.005.
- [21] M. G. Alberti, A. Enfedaque, and J. C. Gálvez, “On the mechanical properties and fracture behavior of polyolefin fiber-reinforced self-compacting concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 55, no. October 2018, pp. 274–288, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.024.
- [22] P. Mármol, “Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas,” p. 81, 2010, [Online]. Available: <http://oa.upm.es/id/eprint/4510>.
- [23] K. Holschemacher, “PERSPECTIVAS DE FUTURO DE UN MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN INNOVADOR.” 2003.
- [24] Astm C78/C78M, “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading),” vol. 04.02, pp. 1–3, 2002.
- [25] A. International, “C 1609/C 1609M-05 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading) 1,” *Astm*, vol. i, no. C 1609/C 1609M-05, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1520/C1609.
- [26] C. Fernández and P. Baptista, *Metodología de la Investigación*. McGRAW-HILL, 2014.
- [27] ASTM C31, “Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo de laboratorio,” pp. 1–12, 2008.
- [28] ASTM C 192/C 192M - 02, “Práctica Normalizada para la Preparación y Curado de las Muestras de Ensayo de Hormigón en el Laboratorio,” vol. 04, pp. 1–10, 2002.
- [29] NTE INEN 3063, “HORMIGÓN CON FIBRAS DE ACERO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (LOP), RESISTENCIA

RESIDUAL),” 2016.

- [30] D. Yanchaguano and D. Coello, “ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN,” 2021.
- [31] M. Di Prisco, G. Plizzari, and L. Vandewalle, “Fibre reinforced concrete: New design perspectives,” *Mater. Struct. Constr.*, vol. 42, no. 9, pp. 1261–1281, 2009, doi: 10.1617/s11527-009-9529-4.
- [32] F. Villalobos and K. J. Paniagua Murillo, “Evaluación de una modificación en la norma ASTM C1609 para el estudio de concreto reforzado con fibras sintéticas sometido a flexión,” *Métodos y Mater.*, vol. 10, pp. 1–11, 2020, doi: 10.15517/mym.v10i0.38567.
- [33] S. T. Islam, “Study of Some Parameters Affecting the Measured Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete,” no. April, 2012.
- [34] A. Curi, J. Gálvez, and M. García, “Estudio del efecto tamaño en el comportamiento a flexión de elementos de hormigón reforzado con fibras de poliolefina,” 2018, [Online]. Available: https://oa.upm.es/67976/1/TFG_ISMAEL_CALVO_PEREZ.pdf.
- [35] W. Ramírez, J. Gálvez, M. Alberti, and A. Díaz, “Fractura en modo mixto (tracción y cortante) de elementos de hormigón reforzado con fibras,” p. 136, 2018.
- [36] R. (Universidad de C. Gutiérrez, “Resistencia de materiales,” *Resist. Mater.*, pp. 1–8, 2013, doi: 10.6035/infitec.2002.12.
- [37] National Ready Mixed Concrete Association, “El concreto en la práctica ¿Qué, por qué y cómo?,” p. 2, 2006, [Online]. Available: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>.

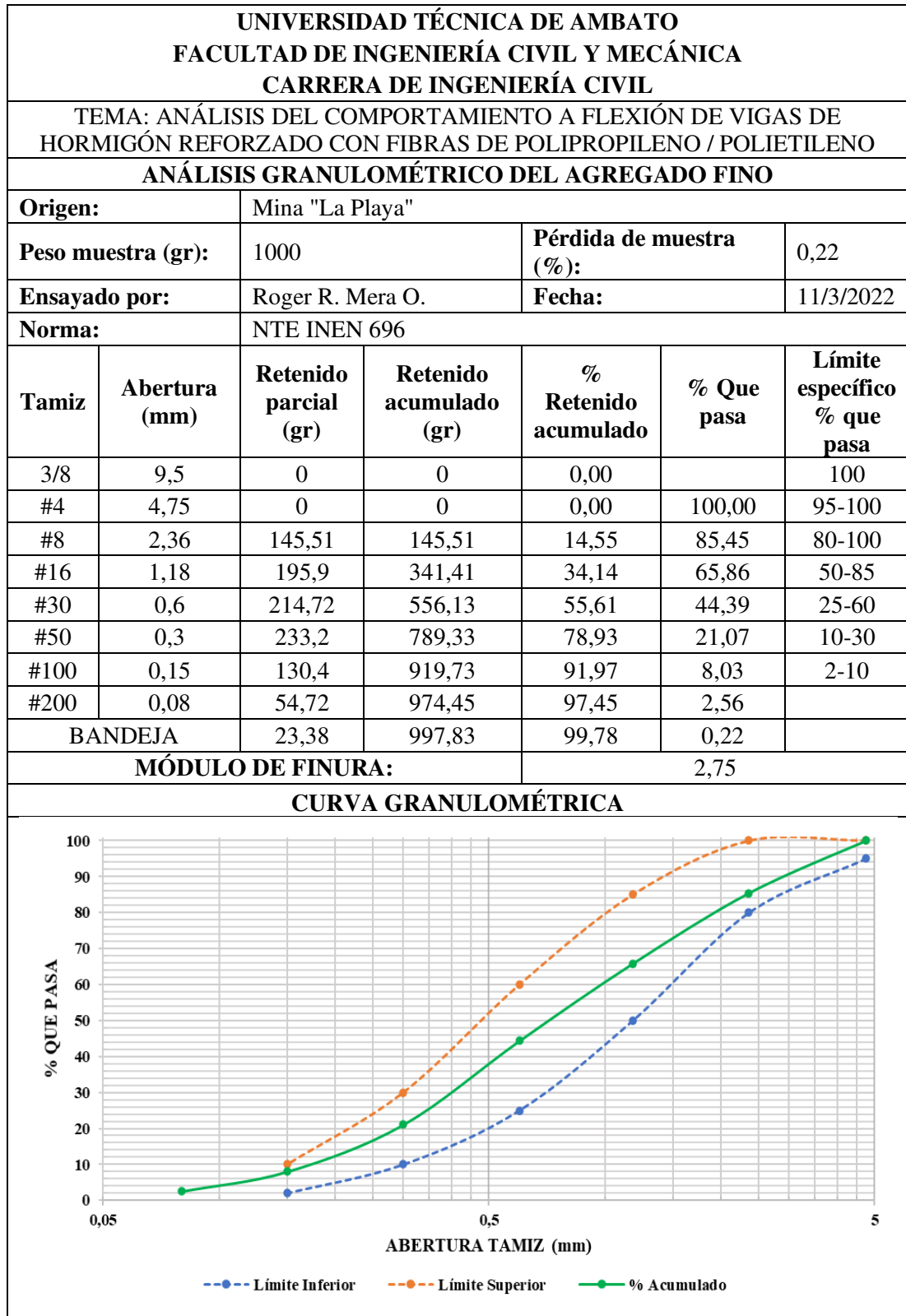
ANEXOS

Anexo 1. Densidad real del cemento

MÉTODO DEL PICNÓMETRO/CALIBRACIÓN		ENSAYADO POR:		Verónica E. Salcedo R.			
NORMA	NTE INEN 156 / ASTM C 188-03	TIPO	CGU				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	E1	E2	E3	E4	
M1	Masa del picnómetro	gr	151,8	151,8	151,8	151,8	
M2	Masa del picnómetro + Cemento	gr	215,8	215,8	215,8	215,8	
M3	Masa del picnómetro + cemento + Gasolina	gr	567,85	569,14	569,34	570,88	
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	gr	352,05	353,34	353,54	355,08	
M5	Masa del picnómetro + 500cm ³ Gasolina	gr	519,18	520,44	520,65	522,35	
M6=M5-M1	Masa 500cm ³ Gasolina	gr	367,38	368,64	368,85	370,55	
DG=M6/500cm ³	Densidad de la Gasolina	gr/cm ³	0,735	0,737	0,738	0,741	
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por el cemento	gr	15,33	15,30	15,31	15,47	
MC=M2-M1	Masa de la cemento	gr	64	64	64	64	
	Temperatura	°C	26	23	22,5	18,5	
VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm ³	20,866	20,750	20,752	20,876	
DRC=MC/VG	Densidad Real del cemento	gr/cm ³	3,067	3,084	3,084	3,066	
DRP	Densidad Real Promedio	gr/cm ³	3,075				

Fuente: D. Yanchaguano and D. Coello, “ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN,” [30]

Anexo 2. Análisis granulométrico del agregado fino



Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Anexo 3. Análisis granulométrico del agregado grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO						
ORIGEN:		Mina "La Playa"				
PESO MUESTRA (gr):		6000		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):		0,14
ENSAYADO POR:		Roger R. Mera O.		FECHA:		10/3/2022
NORMA:		NTE INEN 696				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITE ESPECÍFICO % QUE PASA
2"	50	0	0	0,00		
1 1/2"	37,5	0	0	0,00		
1"	25	0	0	0,00	100,00	100-100
3/4"	19	97,1	97,1	1,62	98,38	90-100
1/2"	12,5	2429,9	2527	42,12	57,88	20-55
3/8"	9,5	2847,1	5374,1	89,57	10,43	0-15
#4	4,75	586,5	5960,6	99,34	0,66	0-5
BANDEJA		31,2	5991,8	99,86	0,14	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:				3/4"		
CURVA GRANULOMÉTRICA						
<p>El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje vertical etiquetado como '% QUE PASA' (rango 0-100) y el eje horizontal etiquetado como 'ABERTURA TAMIZ (mm)' (rango 4-40). Se incluyen tres líneas: una línea verde sólida con puntos que representa el '% Acumulado' real, una línea naranja punteada con puntos que representa el 'Límite Superior' y una línea azul punteada con puntos que representa el 'Límite Inferior'. La curva real comienza cerca del 0% que pasa a 4 mm y alcanza el 100% que pasa a 40 mm, manteniéndose dentro de los límites especificados.</p>						

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Anexo 4. Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
Origen:	Mina "La Playa"			
Ensayado por:	Roger R. Mera O.	Fecha:	16/03/2022	
Norma:	NTE INEN 856			
Dato	Designación	Unidad	Valor	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL				
M1	Masa del picnómetro	gr	145,380	
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	508,260	
M ³	Masa del picnómetro + muestra SSS+ agua	gr	865,650	
M4=M ³ -M2	Masa agua añadida	gr	357,390	
M5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	643,240	
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	497,860	
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0,996	
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	140,470	
M _{sss} =M2-M1	Masa del agregado	gr	362,880	
V _{sss} =M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	141,074	
DRA=M _{sss} /V _{sss}	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2,572	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
M7	Masa del recipiente	gr	30,62	23,79
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	175,93	160,36
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	145,31	136,57
M10	Masa del recipiente+ muestra seca	gr	171,32	156,12
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	140,7	132,33
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	3,28	3,20
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	3,240	

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Anexo 5. Densidad real y Capacidad de absorción del agregado grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
Origen:	Mina "La Playa"			
Ensayado por:	Roger R. Mera O.	Fecha:	18/03/2022	
Norma:	NTE INEN 857			
Dato	Designación	Unidad	Valor	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL				
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1468,00	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1275,00	
M ³	Masa de la canastilla+muestra SSS en el aire	gr	4626,00	
M4	Masa de la canastilla+muestra SSS en el agua	gr	3224,00	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1,00	
M5=M ³ -M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3158,00	
M6=M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1949,00	
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	1209,00	
DR=M5/VR	Densidad del ripio	gr/cm ³	2,612	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
M7	Masa del recipiente	gr	30,62	30,12
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	177,68	199,54
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	147,06	169,42
M10	Masa del recipiente+ muestra seca	gr	174,6	195,97
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	143,98	165,85
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	2,14	2,15
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2,146	

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Anexo 6. Peso unitario suelto y compactado de los agregados

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO				
PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
Origen:	Mina "La Playa"			
Ensayado por:	Roger R. Mera O.	Fecha:	21/03/2022	
Norma:	NTE INEN 858			
Masa recipiente (kg):	9,985			
Volumen recipiente (dm³):	20,29			
Agregado	Agregado + recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario kg/dm ³	Peso unitario promedio kg/dm ³
Grueso	37,035	27,050	1,333	1,332
	37,005	27,020	1,332	
Fino	40,150	30,165	1,487	1,490
	40,295	30,310	1,494	
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
Masa recipiente (kg):	9,985			
Volumen recipiente (dm³):	20,29			
Agregado	Agregado + recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario kg/dm ³	Peso unitario promedio kg/dm ³
Grueso	39,70	29,72	1,465	1,460
	39,51	29,52	1,455	
Fino	42,68	32,70	1,611	1,613
	42,73	32,75	1,614	

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Anexo 7. Densidad aparente compactada de la mezcla

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO								
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
Origen:		Mina "La Playa"						
Masa recipiente (kg):		9,985						
Ensayado por:		Roger R. Mera O.			Fecha:		23/03/2022	
Volumen recipiente:		20,29 dm ³						
Norma:		NTE INEN 858						
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm ³)	Peso unitario promedio
Grueso	Fino	Grueso	Fino	Fino	Agregado fino + grueso			
100	0	40	0	0	39,61	29,63	1,46	1,46
					39,78	29,80	1,47	
90	10	40	4,44	4,44	42,08	32,10	1,58	1,58
					42,12	32,14	1,58	
80	20	40	10	5,56	44,18	34,20	1,69	1,70
					44,67	34,69	1,71	
70	30	40	17,14	7,14	46,37	36,39	1,79	1,80
					46,49	36,51	1,80	
60	40	40	26,67	9,53	47,98	38,00	1,87	1,86
					47,65	37,67	1,86	
50	50	40	40	13,33	48,58	38,60	1,90	1,89
					47,91	37,93	1,87	
40	60	40	60	20	47,5	37,52	1,85	1,85
					47,61	37,63	1,85	

● DENSIDAD ÓPTIMA
 — % MÁXIMO
 — % ÓPTIMO

Porcentaje máximo de agregado fino	52	%
Porcentaje máximo de agregado grueso	48	%
Porcentaje óptimo de agregado fino	48	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso	52	%
Peso unitario máximo	1,873	gr/cm ³
Peso unitario óptimo	1,87	gr/cm ³

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Anexo 8. Dosificación por el método de la densidad óptima

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO					
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA					
Elaborado por:		Roger R. Mera O		Datos de tablas	
Fecha:		4/4/2022		W/C	0,56
Datos de ensayo			Cantidad de pasta	POV+2%+13%(POV)	
f c	240	kg/cm ²	Cálculos		
Asentamiento	12 a 15	cm	DRM	2,59	gr/cm ³
DRC	3,075	gr/cm ³	POV	27,88	%
DRA	2,572	gr/cm ³	CP	335,01	dm ³
DRR	2,612	gr/cm ³	W	211,94	kg
POA	48	%	C	378,46	kg
POR	52	%	A	820,97	kg
DOM	1,87	gr/cm ³	R	903,21	kg
Dosificación al peso					
Material	Cantidad en kg por m ³ de concreto		Dosificación al peso	Cantidad en (kg) por saco de 50kg	
W	211,94		0,56	28,00	
C	378,46		1,00	50,00	
A	820,97		2,17	108,46	
R	903,21		2,39	119,33	
TOTAL	2314,57			kg/m ³	
Nomenclatura					
DRC	Densidad real del cemento	POV	Porcentaje óptimo de vacíos		
DRA	Densidad real de la arena	CP	Cantidad de pasta		
DRR	Densidad real del ripio	W	Cantidad de agua		
POA	Porcentaje óptimo de arena	C	Cantidad de cemento		
POR	Porcentaje óptimo de ripio	A	Cantidad de arena		
DOM	Densidad óptima de la mezcla	R	Cantidad de ripio		
DRM	Densidad real de la mezcla				

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Anexo 9. Dosificación para probetas de 0 kg/m³ de fibra

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO						
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA DIFERENTES CANTIDADES DE FIBRA						
Elaborado por:			Roger R. Mera O.			
Cantidad de Fibra (kg/m³):			0			
Datos						
Alto	0,15	m	Número de probetas:	9	u	
Ancho	0,15	m	Volumen Requerido:	0,10125	m ³	
Largo	0,5	m				
Dosificación						
Material	Cantidad en kg por m ³ de concreto		Dosificación al peso		Cantidad necesaria	
W (kg)	211,937		0,560		21,459	
C (kg)	378,458		1,000		38,319	
A (kg)	820,967		2,169		83,123	
R (kg)	903,213		2,387		91,450	
Fibra (gr)					0,000	
Plastificante (gr)					191,594	
Corrección de la humedad						
Material	C.A	C.H	Corrección		Dosificación al peso	Cantidad
	%	%	%	kg		
W (kg)				2,364	0,6	23,8
C (kg)					1,0	38,3
A (kg)	3,240	1,800	1,440	1,159	2,1	82,0
R (kg)	2,146	0,800	1,346	1,205	2,4	90,2
Fibra (gr)					0,0	
Plastificante (gr)					191,6	
Nomenclatura						
C,A	Capacidad de absorción				W	Agua
C.H	Contenido de Humedad de la muestra 24h antes				A	Arena
C	Cemento				R	Ripio
Nota: Por efectos prácticos se considerará un desperdicio del 10%						

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Anexo 10. Dosificación para probetas de 3 kg/m³ de fibra

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO						
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA DIFERENTES CANTIDADES DE FIBRA						
Elaborado por:			Roger R. Mera O.			
Cantidad de Fibra (kg/m³)			3			
Datos						
Alto	0,15	m	Número de probetas:	9	u	
Ancho	0,15	m	Volumen Requerido:	0,10125	m ³	
Largo	0,5	m				
Dosificación						
Material	Cantidad en kg por m ³ de concreto		Dosificación al peso		Cantidad necesaria	
W (kg)	211,937		0,560		21,459	
C (kg)	378,458		1,000		38,319	
A (kg)	820,967		2,169		83,123	
R (kg)	903,213		2,387		91,450	
Fibra (gr)					303,750	
Plastificante (gr)					191,594	
Corrección de la humedad						
Material	C.A	C.H	Corrección		Dosificación al peso	Cantidad
	%	%	%	kg		
W (kg)				1,356	0,6	22,8
C (kg)					1,0	38,3
A (kg)	3,240	2,930	0,310	0,250	2,2	82,9
R (kg)	2,146	0,910	1,236	1,107	2,4	90,3
Fibra (gr)					303,8	
Plastificante (gr)					191,6	
Nomenclatura						
C,A	Capacidad de absorción			W	Agua	
C.H	Contenido de Humedad de la muestra 24h antes			A	Arena	
C	Cemento			R	Ripio	
Nota: Por efectos prácticos se considerará un desperdicio del 10%						

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Anexo 11. Dosificación para probetas de 6 kg/m³ de fibra

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO / POLIETILENO						
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA DIFERENTES CANTIDADES DE FIBRA						
Elaborado por:			Roger R. Mera O.			
Cantidad de Fibra (kg/m³)			6			
Datos						
Alto	0,15	m	Número de probetas:	9	u	
Ancho	0,15	m	Volumen Requerido:	0,10125	m ³	
Largo	0,5	m				
Dosificación						
Material	Cantidad en kg por m ³ de concreto		Dosificación al peso		Cantidad necesaria	
W (kg)	211,937		0,560		21,459	
C (kg)	378,458		1,000		38,319	
A (kg)	820,967		2,169		83,123	
R (kg)	903,213		2,387		91,450	
Fibra (gr)					607,500	
Plastificante (gr)					191,594	
Corrección de la humedad						
Material	C.A	C.H	Corrección		Dosificación al peso	Cantidad
	%	%	%	kg		
W (kg)				0,853	0,6	22,3
C (kg)					1,0	38,3
A (kg)	3,240	3,610	-0,370	0,298	2,2	83,4
R (kg)	2,146	0,860	1,286	1,151	2,4	90,3
Fibra (gr)					607,5	
Plastificante (gr)					191,6	
Nomenclatura						
C,A	Capacidad de absorción				W	Agua
C.H	Contenido de Humedad de la muestra 24h antes				A	Arena
C	Cemento				R	Ripio
Nota: Por efectos prácticos se considerará un desperdicio del 10%						

Fuente: Roger Ricardo Mera Ortiz

Anexo 12. Reporte del ensayo a flexión (ASTM 1609)

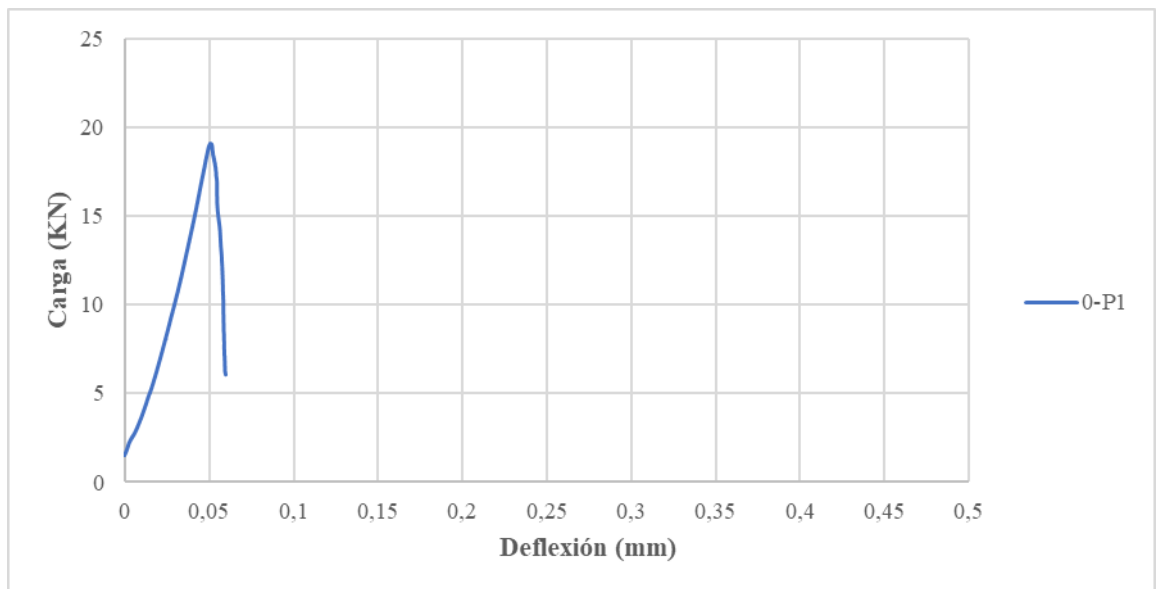
ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

Probeta **0-P1**

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	148	Altura de la probeta (mm):	152



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,51
Carga máxima (N):	19094,79	Energía de fractura (N/m):	20,51
Trabajo de fractura (KN-mm):	0,46		

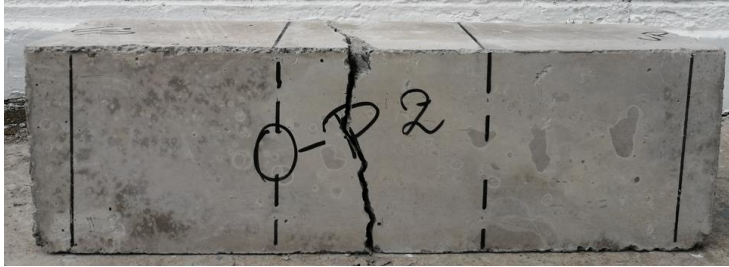


ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

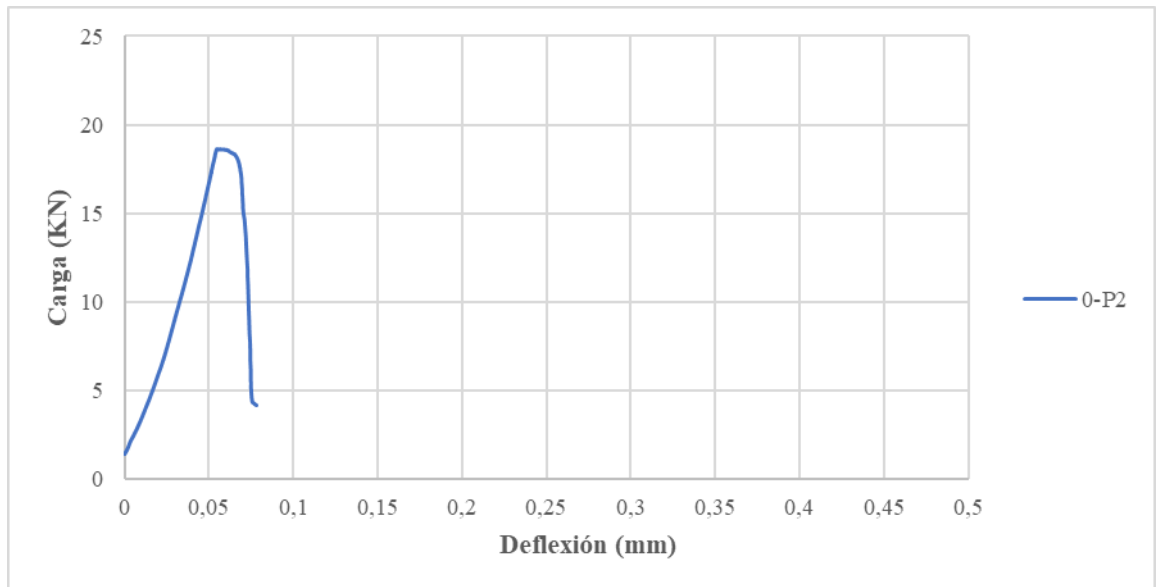
Probeta

0-P2

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	148	Altura de la probeta (mm):	152



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,46
Carga máxima (N):	18658,32	Energía de fractura (N/m):	21,02
Trabajo de fractura (KN-mm):	0,48		



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

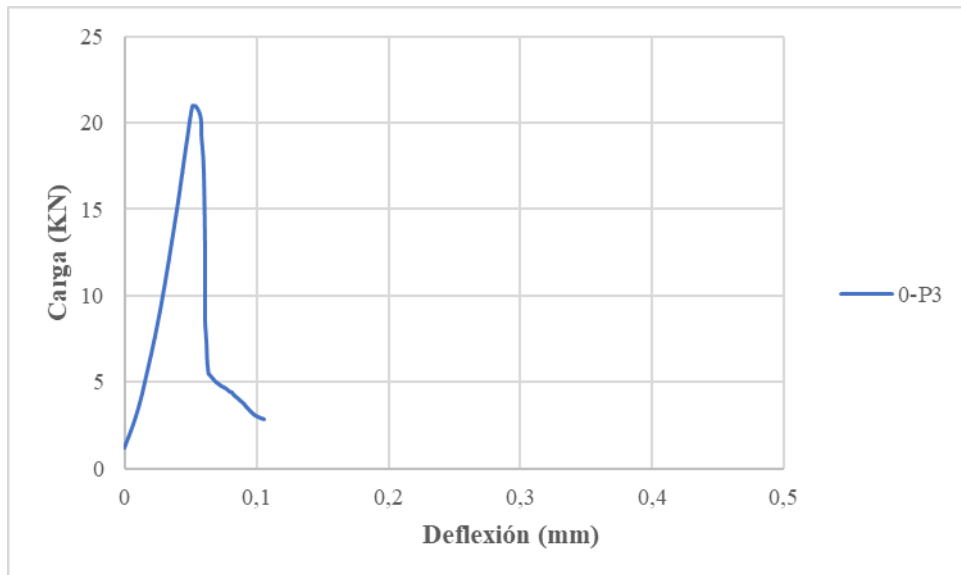
Probeta

0-P3

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	149	Altura de la probeta (mm):	152



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,74
Carga máxima (N):	20965,58	Energía de fractura (N/m):	21,79
Trabajo de fractura (KN-mm):	0,49		



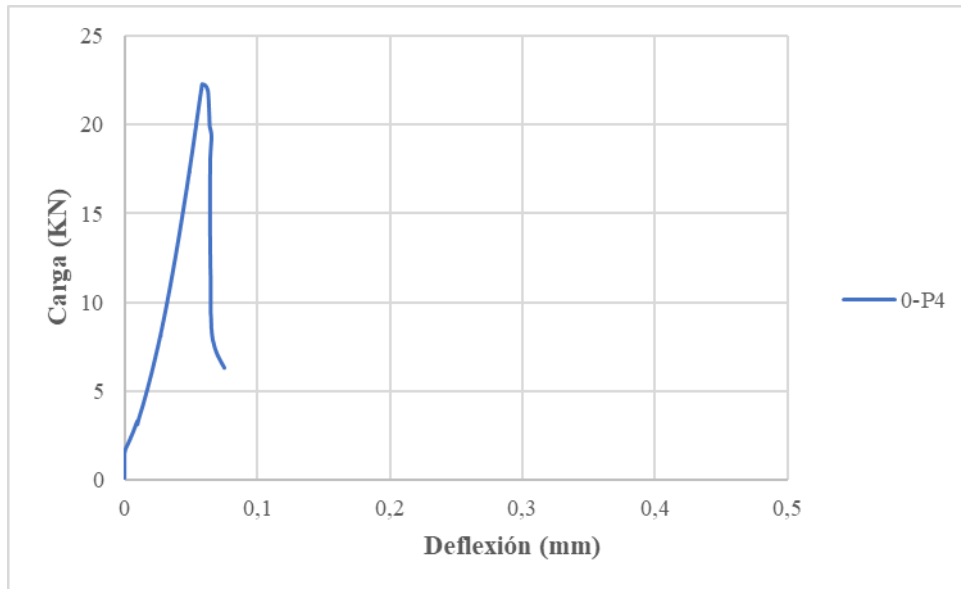
ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

Probeta **0-P4**

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	150	Altura de la probeta (mm):	153
Longitud de la fractura (mm):	155		



Deflexión en la rotura (mm):	0,06	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,86
Carga máxima (N):	22296,91	Energía de fractura (N/m):	25,02
Trabajo de fractura (KN-mm):	0,58		

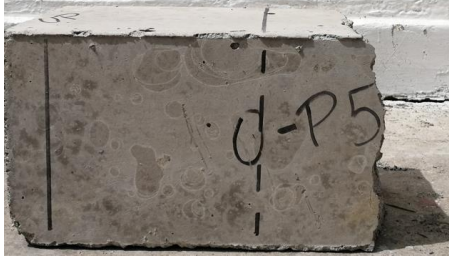


ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

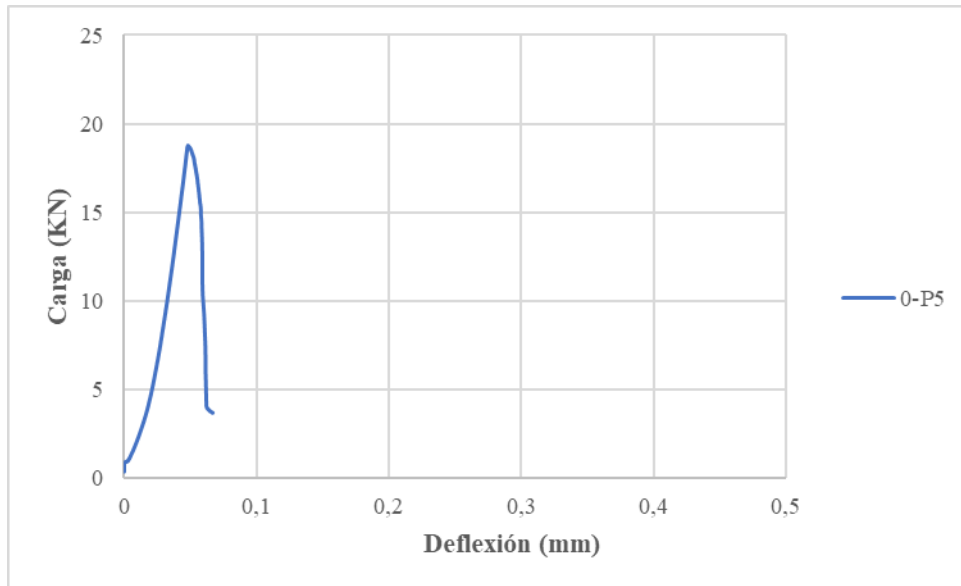
Probeta

0-P5

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	147	Altura de la probeta (mm):	150
Longitud de la fractura (mm):	152		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,55
Carga máxima (N):	18775,30	Energía de fractura (N/m):	16,13
Trabajo de fractura (KN-mm):	0,36		



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

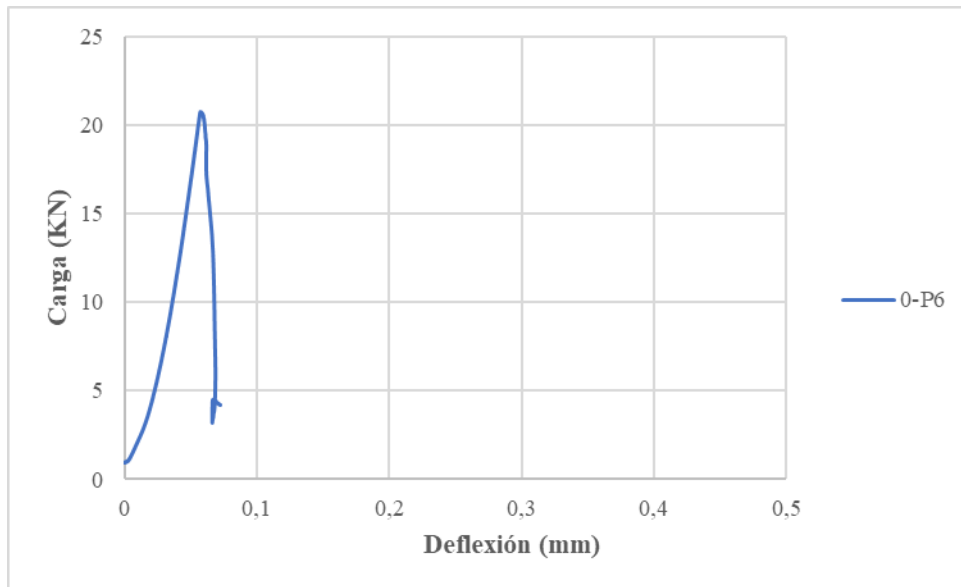
Probeta

0-P6

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	149	Altura de la probeta (mm):	151



Deflexión en la rotura (mm):	0,06	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,75
Carga máxima (N):	20725,57	Energía de fractura (N/m):	20,57
Trabajo de fractura (KN-mm):	0,47		



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

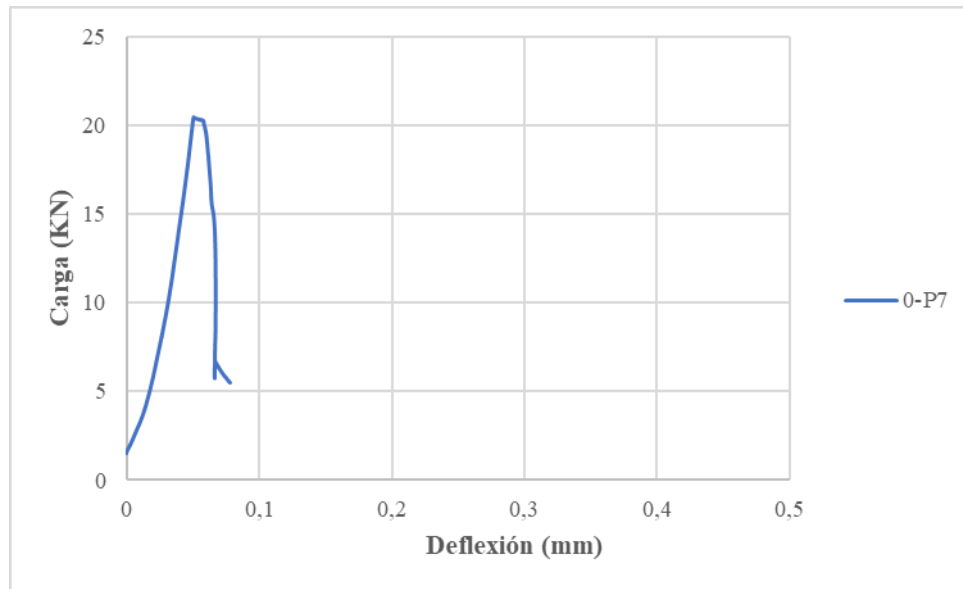
Probeta

0-P7

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	151	Altura de la probeta (mm):	150
Longitud de la fractura (mm):	152		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,71
Carga máxima (N):	20434,70	Energía de fractura (N/m):	19,41
Trabajo de fractura (KN-mm):	0,45		



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

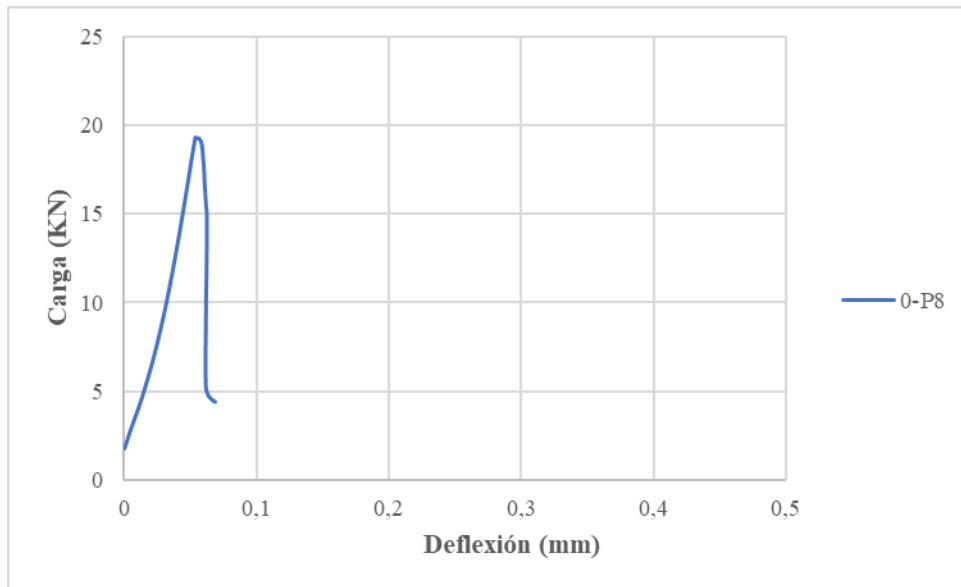
Probeta

0-P8

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	149	Altura de la probeta (mm):	150
Longitud de la fractura (mm):	152		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,59
Carga máxima (N):	19297,92	Energía de fractura (N/m):	21,89
Trabajo de fractura (KN-mm):	0,50		



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

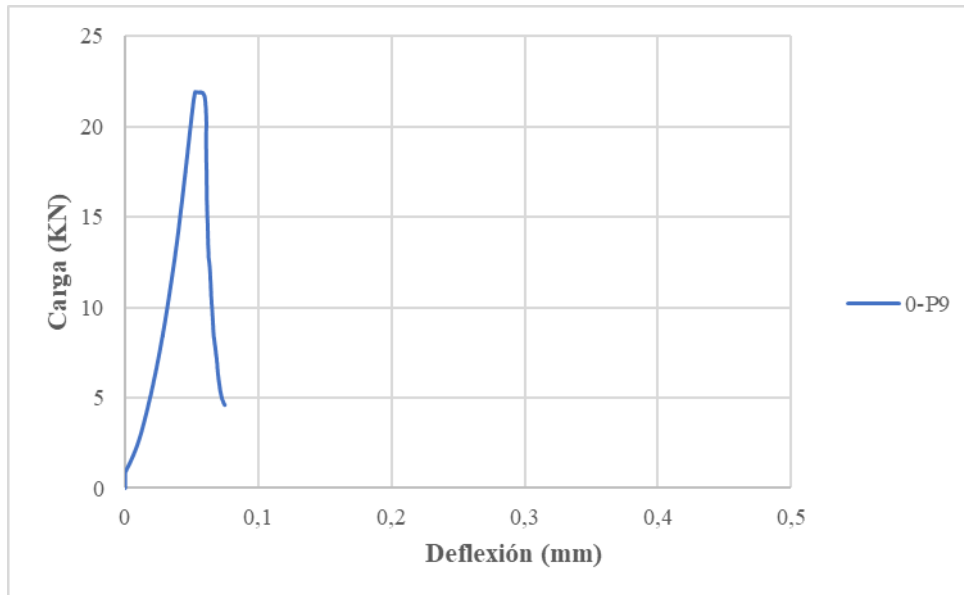
Probeta

0-P9

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	148	Altura de la probeta (mm):	151
Longitud de la fractura (mm):	154		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,92
Carga máxima (N):	21926,88	Energía de fractura (N/m):	20,81
Trabajo de fractura (KN-mm):	0,47		



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

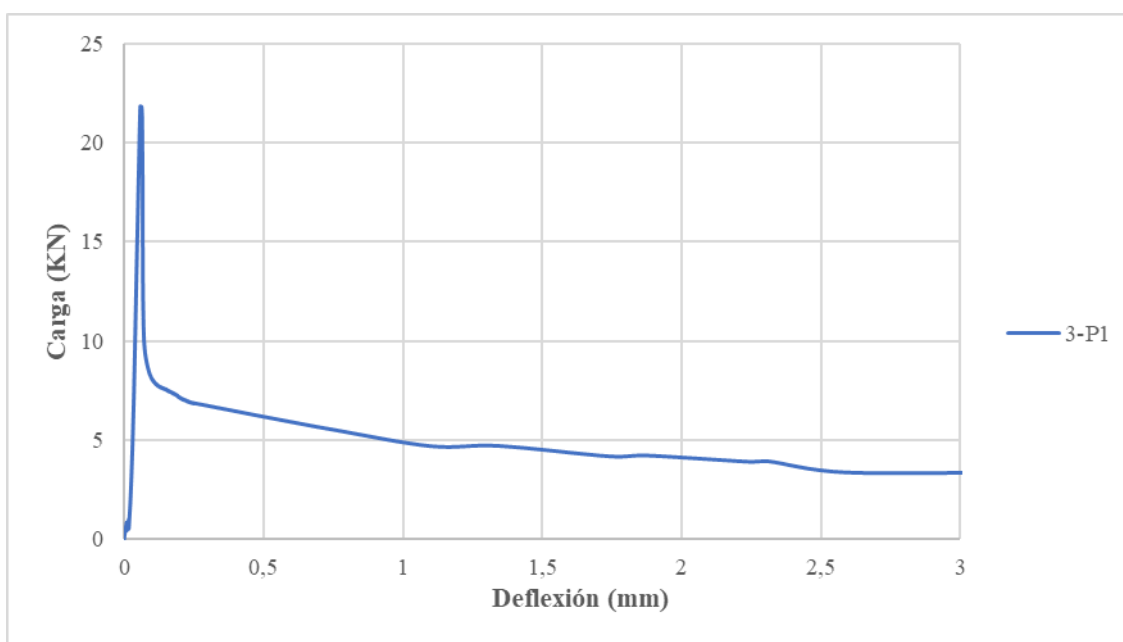
Probeta

3-P1

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	148	Altura de la probeta (mm):	152
Longitud de fractura (mm):	156		



Deflexión en la rotura (mm):	0,06	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,85
Carga máxima (N):	21689,46	Esfuerzo L/600 (Mpa):	0,73
Carga L/600 (0,75mm) (N):	5510,01	Esfuerzo L/150 (Mpa):	0,44
Carga L/150 (3mm) (N):	3353,49	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	13,78	Rotura - 3mm	596,73
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,41	Rotura	17,81
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	6,35	1mm	275,06
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	10,63	2mm	460,22
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	14,19	3mm	614,54



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

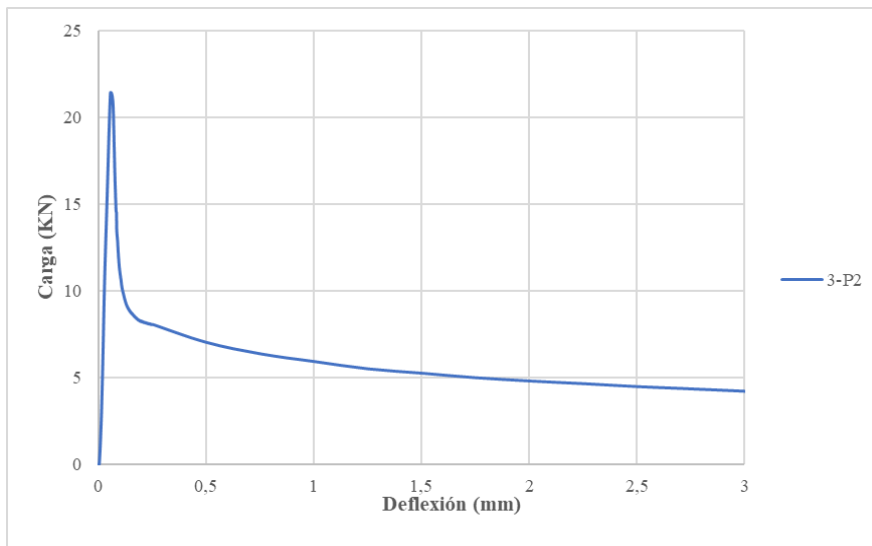
Probeta

3-P2

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	149	Altura de la probeta (mm):	152
Longitud de fractura (mm):	157		



Deflexión en la rotura (mm):	0,06	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,78
Carga máxima (N):	21303,22	Esfuerzo L/600 (Mpa):	0,83
Carga L/600 (0,75mm) (N):	6360,05	Esfuerzo L/150 (Mpa):	0,55
Carga L/150 (3mm) (N):	4242,77	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	16,94	Rotura - 3mm	724,11
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,56	Rotura	23,86
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	7,67	1mm	328,00
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	12,98	2mm	554,66
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	17,50	3mm	747,97

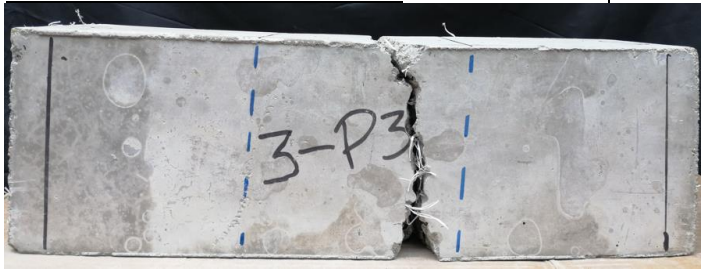


ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

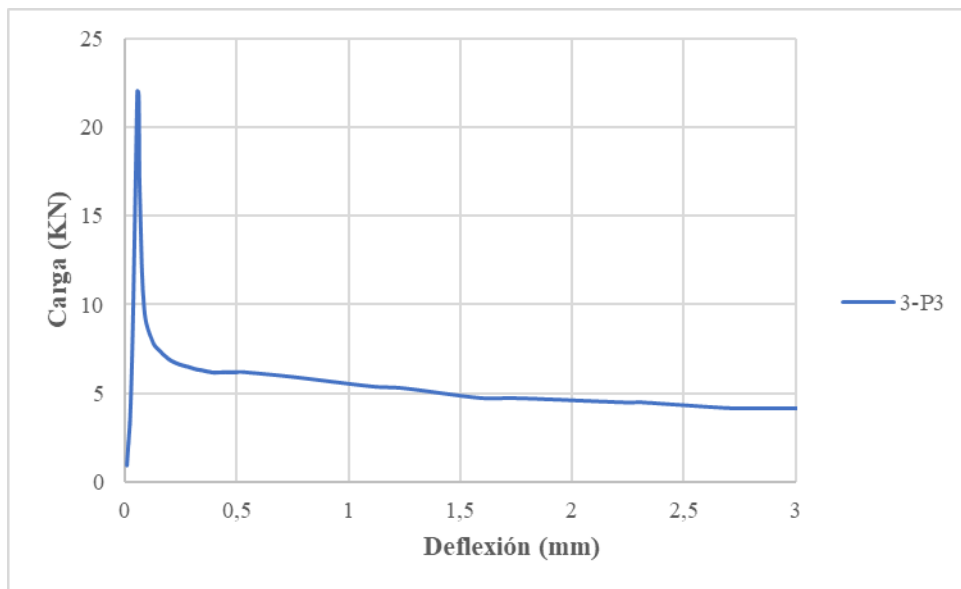
Probeta

3-P3

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	150	Altura de la probeta (mm):	152



Deflexión en la rotura (mm):	0,06	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,84
Carga máxima (N):	21909,13	Esfuerzo L/600 (Mpa):	0,77
Carga L/600 (0,75mm) (N):	5911,67	Esfuerzo L/150 (Mpa):	0,54
Carga L/150 (3mm) (N):	4139,93	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	15,32	Rotura - 3mm	663,36
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,41	Rotura	17,83
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	6,59	1mm	285,37
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	11,49	2mm	497,50
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	15,74	3mm	681,19

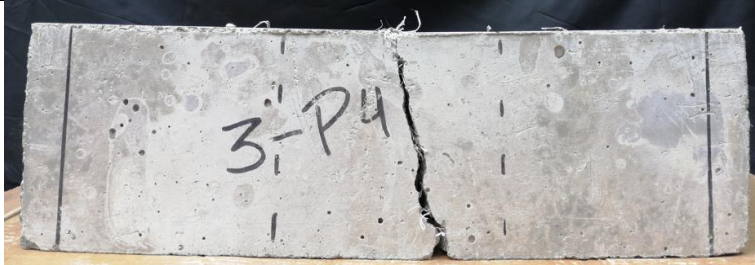


ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

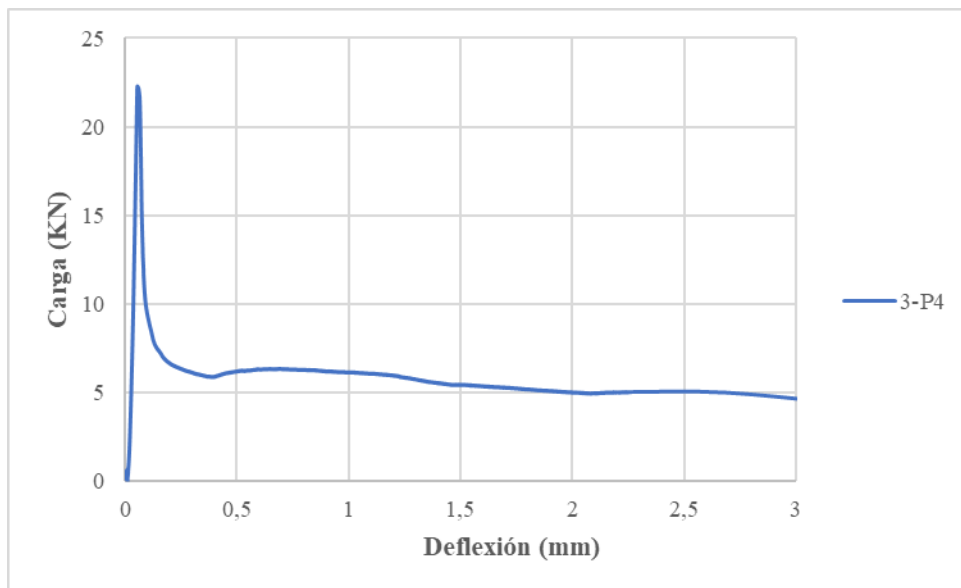
Probeta

3-P4

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	149	Altura de la probeta (mm):	152
Longitud de fractura (mm):	157		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,89
Carga máxima (N):	22138,96	Esfuerzo L/600 (Mpa):	0,82
Carga L/600 (0,75mm) (N):	6307,60	Esfuerzo L/150 (Mpa):	0,64
Carga L/150 (3mm) (N):	4926,05	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	16,87	Rotura - 3mm	721,11
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,39	Rotura	16,85
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	6,81	1mm	291,30
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	12,34	2mm	527,48
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	17,26	3mm	737,96



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

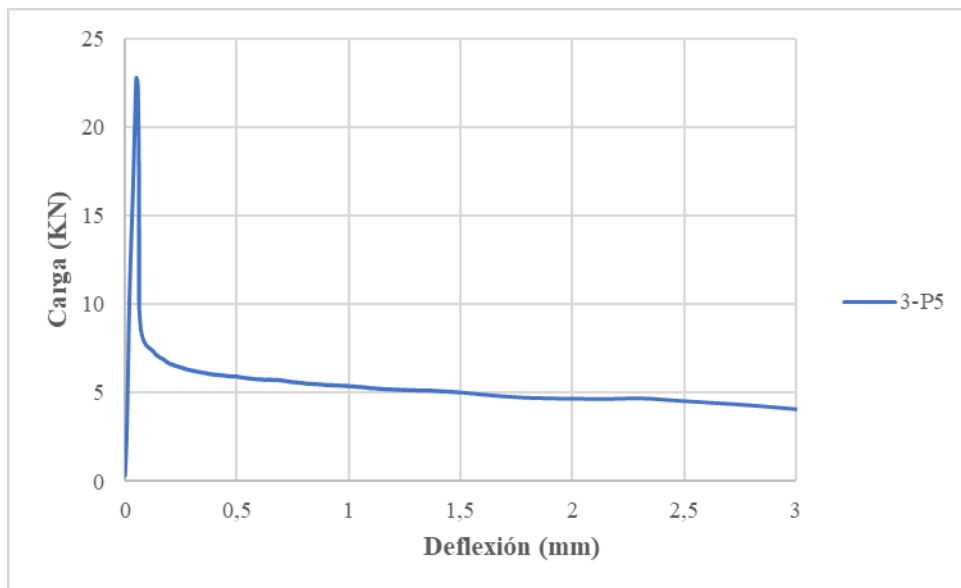
Probeta

3-P5

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	148	Altura de la probeta (mm):	150
Longitud de fractura (mm):	153		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	3,06
Carga máxima (N):	22640,91	Esfuerzo L/600 (Mpa):	0,76
Carga L/600 (0,75mm) (N):	5605,70	Esfuerzo L/150 (Mpa):	0,54
Carga L/150 (3mm) (N):	4026,30	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	15,28	Rotura - 3mm	674,82
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,59	Rotura	26,12
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	6,54	1mm	288,64
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	11,50	2mm	507,92
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	15,87	3mm	700,94

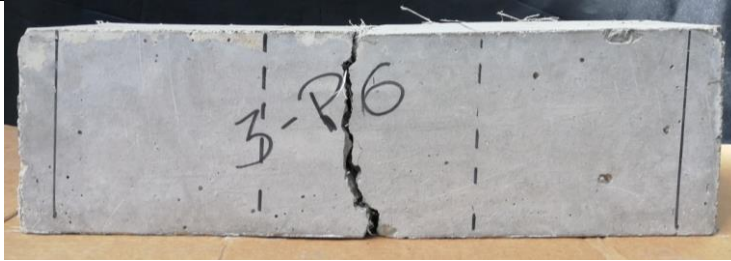


ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

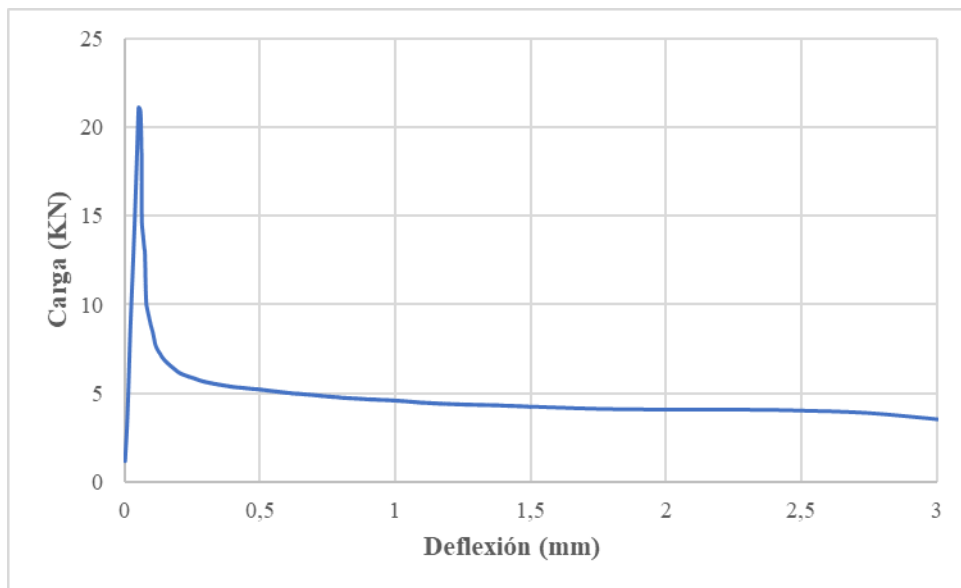
Probeta

3-P6

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	149	Altura de la probeta (mm):	151
Longitud de fractura (mm):	153		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,78
Carga máxima (N):	20980,88	Esfuerzo L/600 (Mpa):	0,64
Carga L/600 (0,75mm) (N):	4807,15	Esfuerzo L/150 (Mpa):	0,48
Carga L/150 (3mm) (N):	3644,43	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	13,55	Rotura - 3mm	594,59
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,54	Rotura	23,56
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	5,95	1mm	261,03
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	10,20	2mm	447,32
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	14,09	3mm	618,15



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

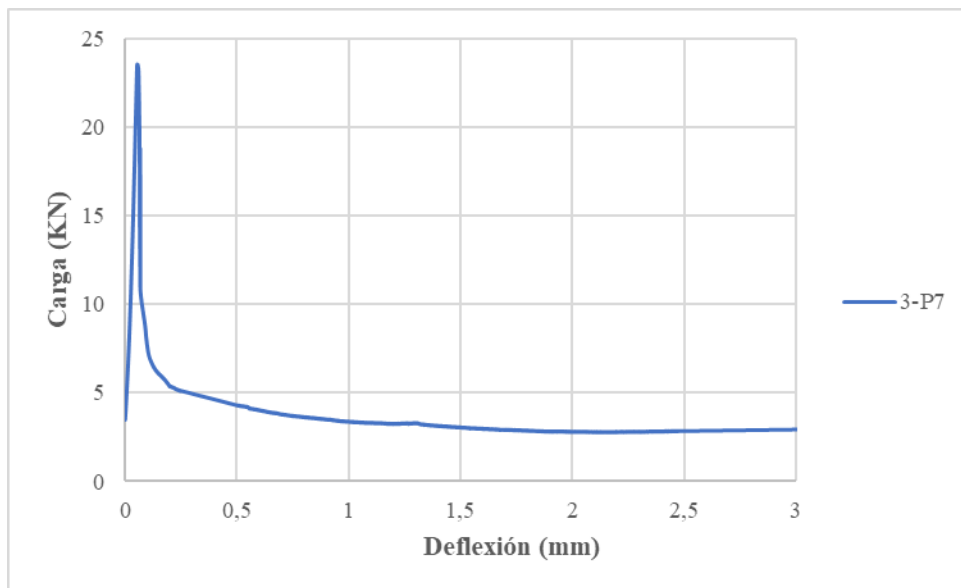
Probeta

3-P7

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	151	Altura de la probeta (mm):	150
Longitud de fractura (mm):	151		



Deflexión en la rotura (mm):	0,054	Esfuerzo máximo (Mpa):	3,10
Carga máxima (N):	23395,90	Esfuerzo L/600 (Mpa):	0,49
Carga L/600 (0,75mm) (N):	3685,00	Esfuerzo L/150 (Mpa):	0,39
Carga L/150 (3mm) (N):	2925,60	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	10,37	Rotura - 3mm	454,98
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,65	Rotura	28,50
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	5,12	1mm	224,49
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	8,17	2mm	358,37
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	11,02	3mm	483,48



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

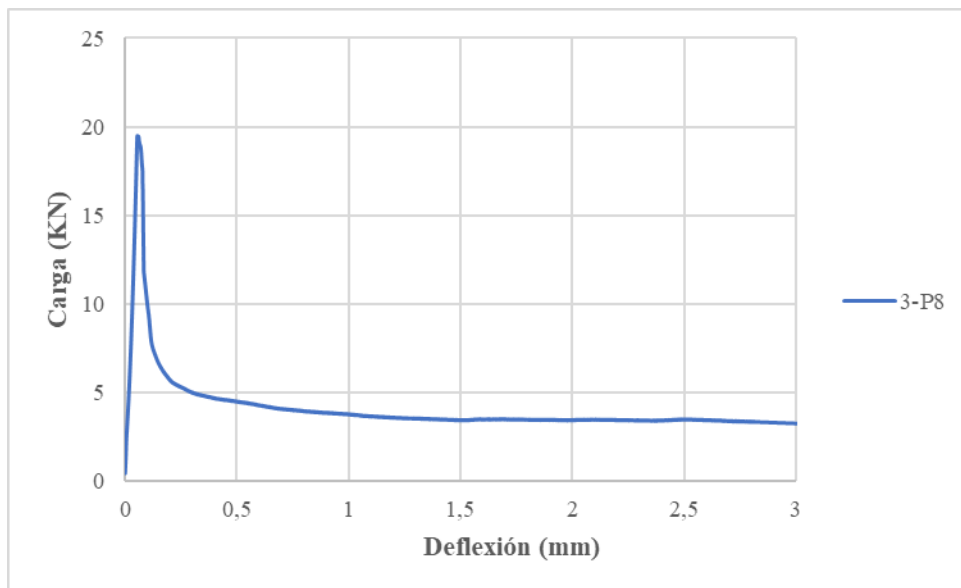
Probeta

3-P8

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	149	Altura de la probeta (mm):	150
Longitud de fractura (mm):	153		



Deflexión en la rotura (mm):	0,054	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,60
Carga máxima (N):	19341,20	Esfuerzo L/600 (Mpa):	0,54
Carga L/600 (0,75mm) (N):	4022,28	Esfuerzo L/150 (Mpa):	0,44
Carga L/150 (3mm) (N):	3262,05	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	11,85	Rotura - 3mm	519,75
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,48	Rotura	21,19
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	5,39	1mm	236,31
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	8,91	2mm	391,03
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	12,33	3mm	540,94

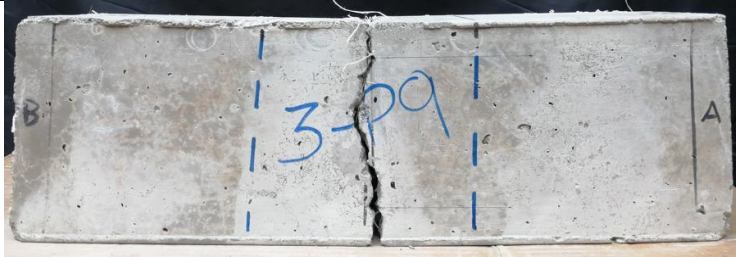


ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

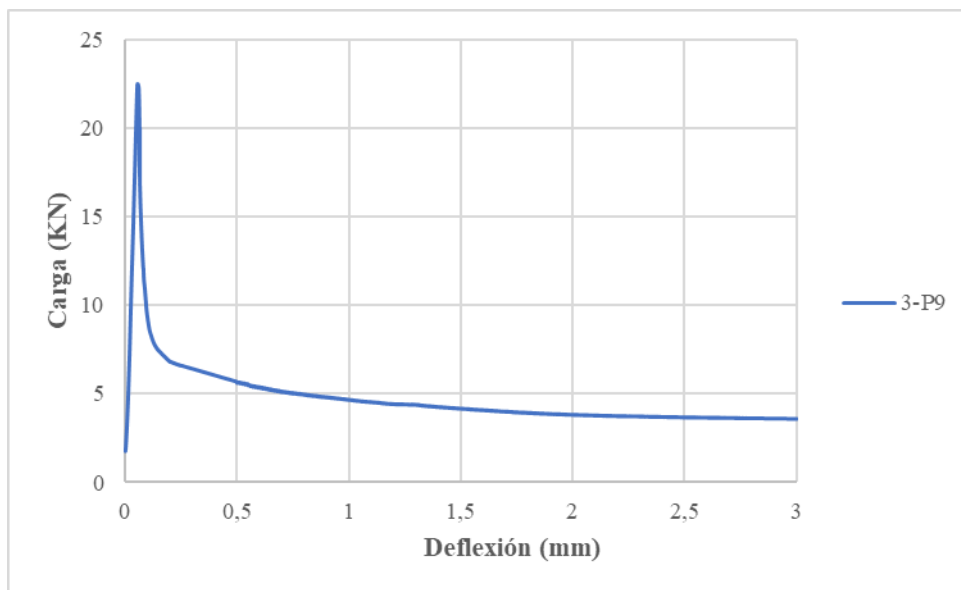
Probeta

3-P9

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	148	Altura de la probeta (mm):	150
Longitud de fractura (mm):	152		



Deflexión en la rotura (mm):	0,06	Esfuerzo máximo (Mpa):	3,02
Carga máxima (N):	22341,77	Esfuerzo L/600 (Mpa):	0,68
Carga L/600 (0,75mm) (N):	5028,41	Esfuerzo L/150 (Mpa):	0,48
Carga L/150 (3mm) (N):	3583,59	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	13,65	Rotura - 3mm	606,82
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,60	Rotura	26,83
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	6,39	1mm	284,09
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	10,57	2mm	469,99
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	14,25	3mm	633,66



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

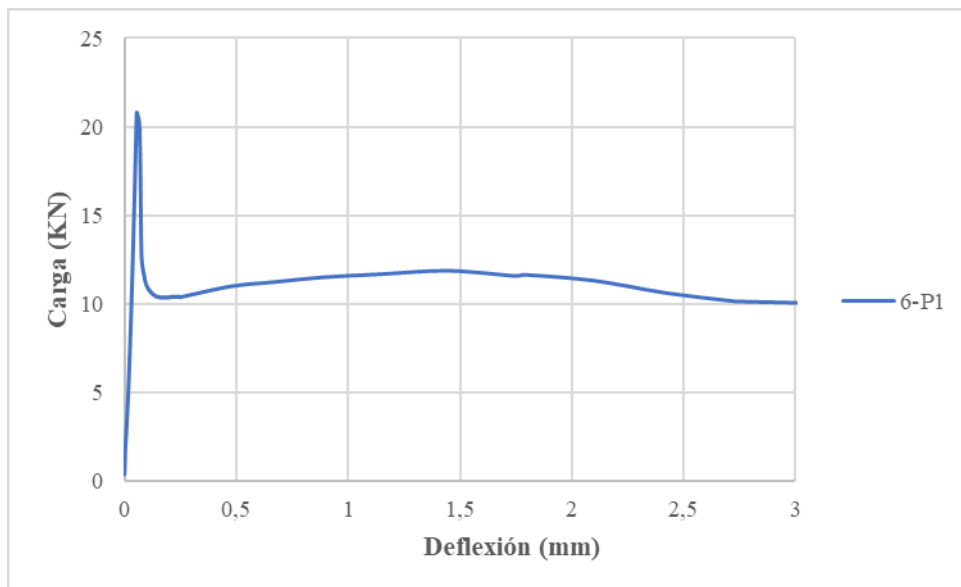
Probeta

6-P1

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	149	Altura de la probeta (mm):	152



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,74
Carga máxima (N):	20964,58	Esfuerzo L/600 (Mpa):	1,44
Carga L/600 (0,75mm) (N):	11013,35	Esfuerzo L/150 (Mpa):	1,32
Carga L/150 (3mm) (N):	10070,55	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	31,55	Rotura - 3mm	1357,39
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,51	Rotura	22,04
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	10,86	1mm	467,32
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	21,94	2mm	943,99
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	32,06	3mm	1379,43

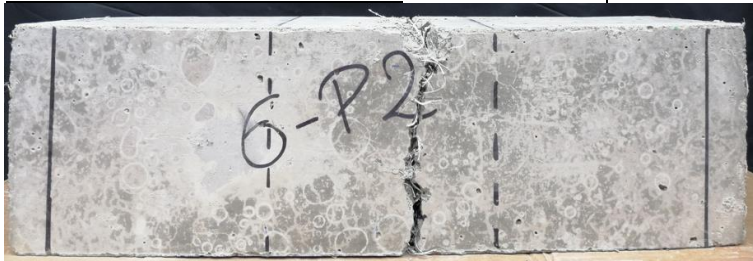


ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

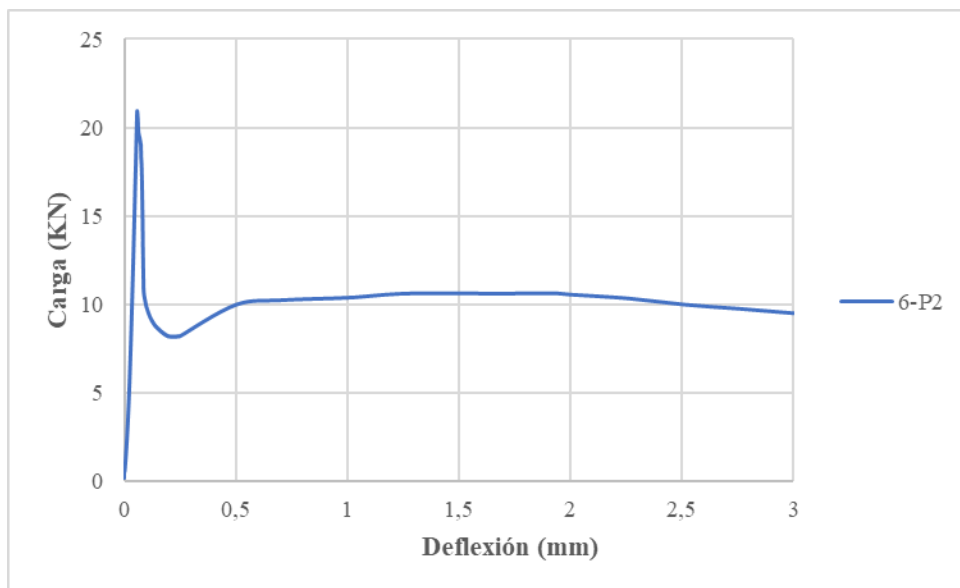
Probeta

6-P2

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	148	Altura de la probeta (mm):	151



Deflexión en la rotura (mm):	0,06	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,82
Carga máxima (N):	21128,29	Esfuerzo L/600 (Mpa):	1,36
Carga L/600 (0,75mm) (N):	10220,85	Esfuerzo L/150 (Mpa):	1,27
Carga L/150 (3mm) (N):	9507,80	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	29,78	Rotura - 3mm	1332,34
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,50	Rotura	22,23
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	9,76	1mm	436,91
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	20,27	2mm	907,04
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	30,27	3mm	1354,57

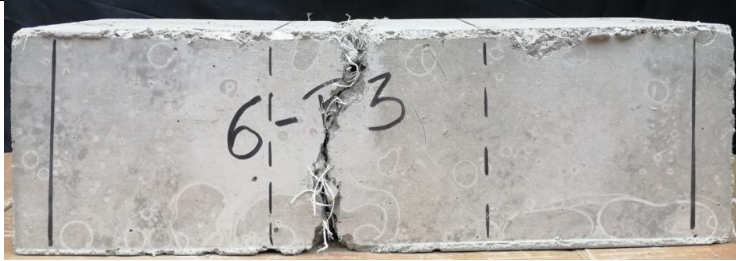


ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

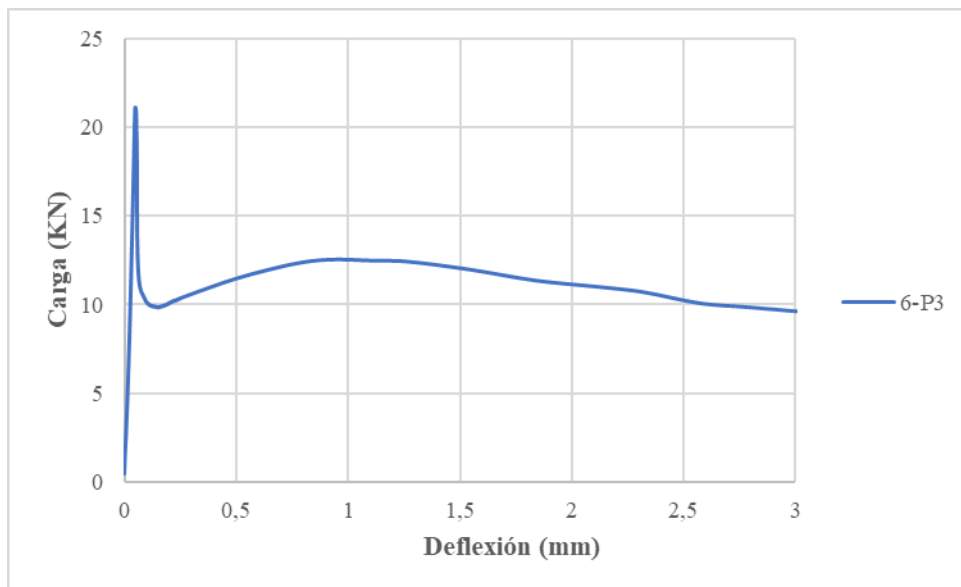
Probeta

6-P3

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	148	Altura de la probeta (mm):	151
Longitud de fractura (mm):	155		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,84
Carga máxima (N):	21277,07	Esfuerzo L/600 (Mpa):	1,63
Carga L/600 (0,75mm) (N):	12256,30	Esfuerzo L/150 (Mpa):	1,27
Carga L/150 (3mm) (N):	9549,43	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	29,95	Rotura - 3mm	1305,55
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,32	Rotura	14,06
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	9,76	1mm	425,63
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	20,27	2mm	883,63
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	30,27	3mm	1319,61



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

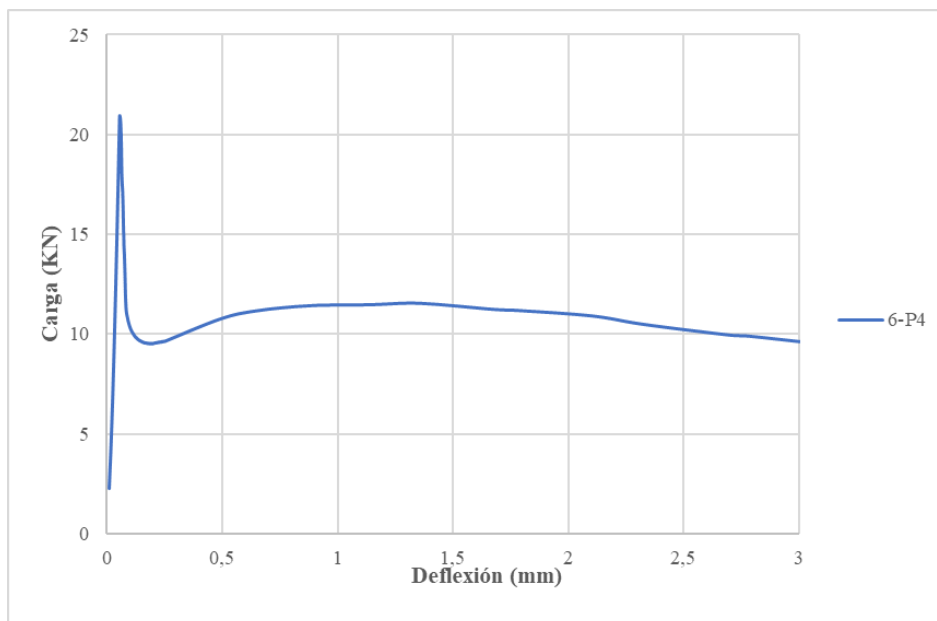
Probeta

6-P4

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	150	Altura de la probeta (mm):	152
Longitud de fractura (mm):	154		



Deflexión en la rotura (mm):	0,06	Esfuerzo máximo (Mpa):	3,03
Carga máxima (N):	23326,19	Esfuerzo L/600 (Mpa):	1,78
Carga L/600 (0,75mm) (N):	13684,27	Esfuerzo L/150 (Mpa):	1,59
Carga L/150 (3mm) (N):	12264,87	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	39,72	Rotura - 3mm	1719,49
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,56	Rotura	24,25
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	12,89	1mm	557,98
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	27,20	2mm	1177,47
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	40,28	3mm	1743,74



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

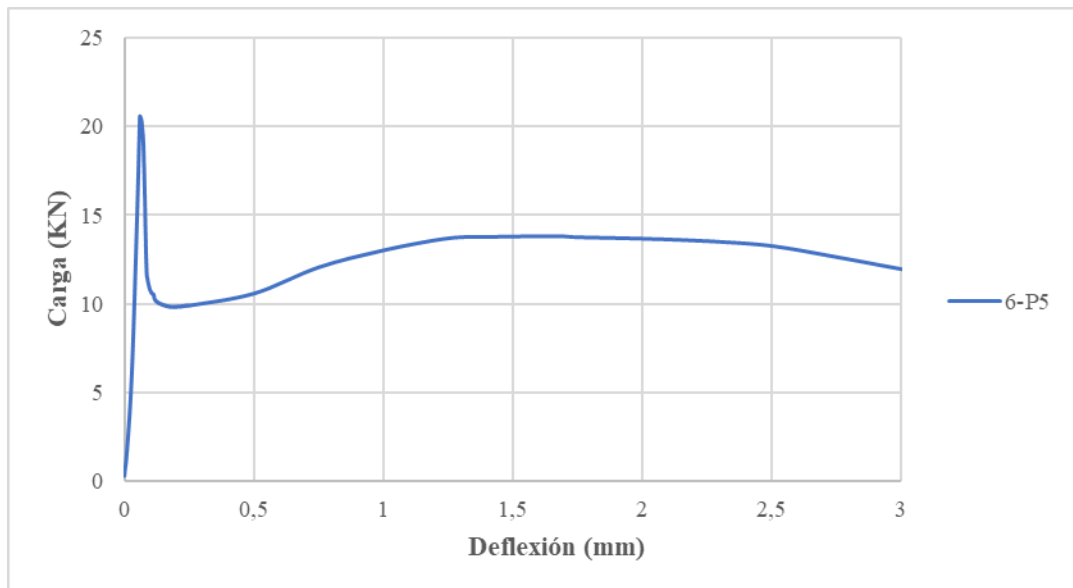
Probeta

6-P5

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	148	Altura de la probeta (mm):	152
Longitud de fractura (mm):	152		



Deflexión en la rotura (mm):	0,06	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,73
Carga máxima (N):	20747,78	Esfuerzo L/600 (Mpa):	1,58
Carga L/600 (0,75mm) (N):	12042,68	Esfuerzo L/150 (Mpa):	1,57
Carga L/150 (3mm) (N):	11963,01	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	37,29	Rotura - 3mm	1657,78
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,48	Rotura	21,43
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	11,09	1mm	493,03
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	24,73	2mm	1099,33
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	37,78	3mm	1679,21



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

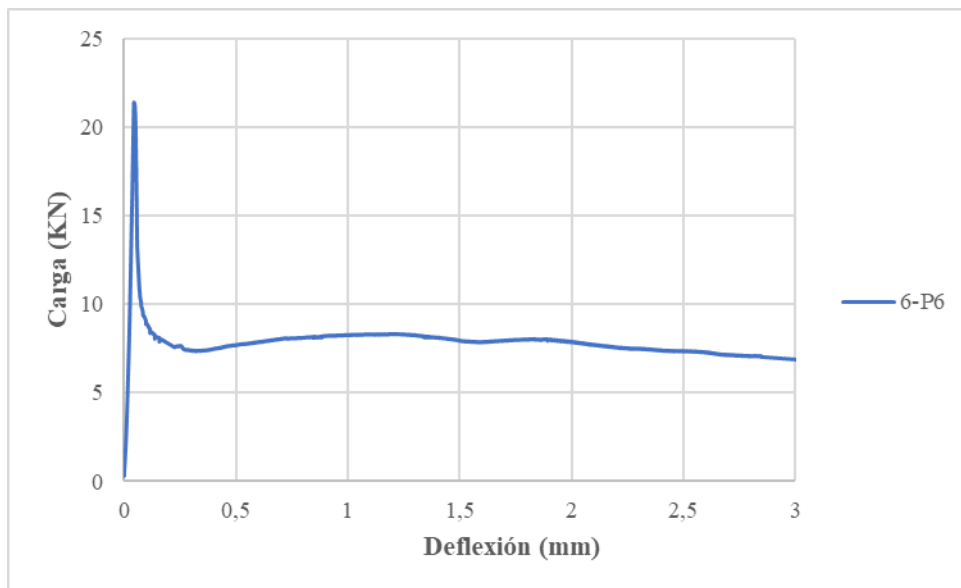
Probeta

6-P6

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	148	Altura de la probeta (mm):	151
Longitud de fractura (mm):	152		



Deflexión en la rotura (mm):	0,04	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,87
Carga máxima (N):	21542,50	Esfuerzo L/600 (Mpa):	1,08
Carga L/600 (0,75mm) (N):	8076,67	Esfuerzo L/150 (Mpa):	0,92
Carga L/150 (3mm) (N):	6879,11	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	23,18	Rotura - 3mm	1030,51
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,39	Rotura	17,17
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	8,16	1mm	362,58
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	16,24	2mm	721,73
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	23,57	3mm	1047,67



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

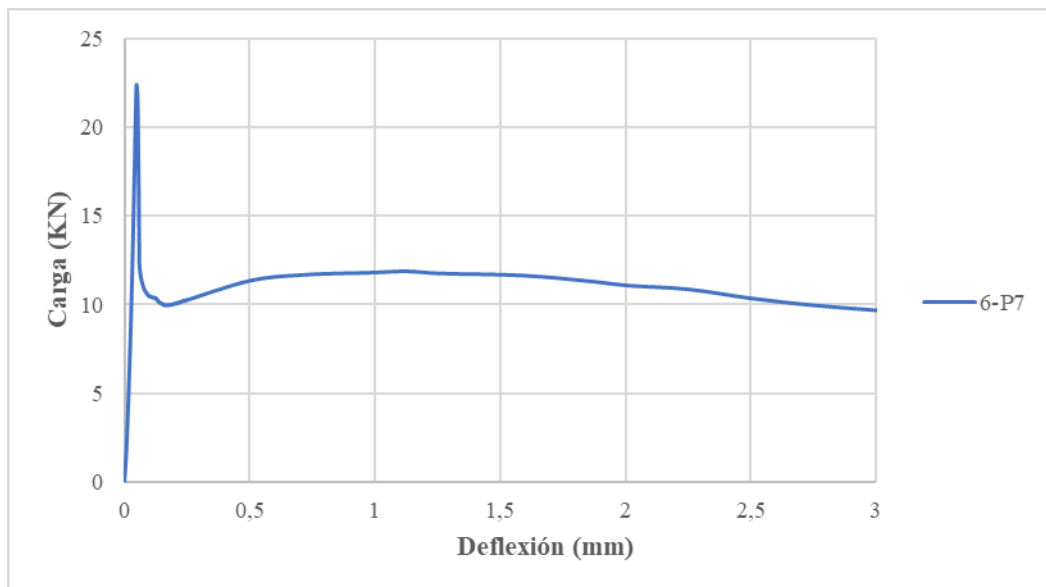
Probeta

6-P7

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	149	Altura de la probeta (mm):	150
Longitud de fractura (mm):	154		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	3,03
Carga máxima (N):	22556,90	Esfuerzo L/600 (Mpa):	1,47
Carga L/600 (0,75mm) (N):	10938,64	Esfuerzo L/150 (Mpa):	1,30
Carga L/150 (3mm) (N):	9662,63	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	32,15	Rotura - 3mm	1401,13
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,45	Rotura	19,54
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	10,93	1mm	476,19
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	1,88	2mm	82,15
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	32,60	3mm	1420,67



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

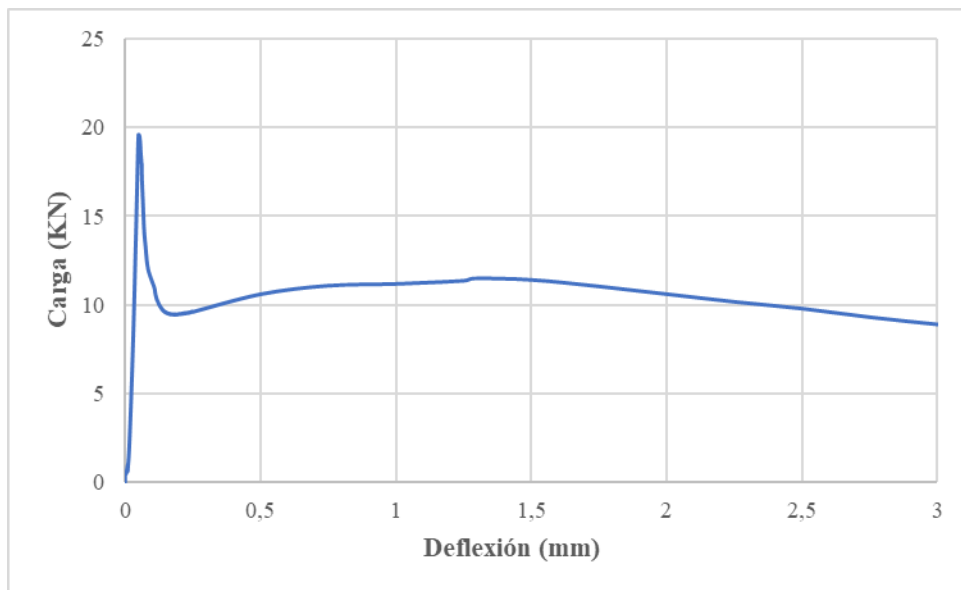
Probeta

6-P8

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	150	Altura de la probeta (mm):	151
Longitud de fractura (mm):	153		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,60
Carga máxima (N):	19762,95	Esfuerzo L/600 (Mpa):	1,46
Carga L/600 (0,75mm) (N):	11068,66	Esfuerzo L/150 (Mpa):	1,17
Carga L/150 (3mm) (N):	8897,12	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	30,89	Rotura - 3mm	1346,15
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,35	Rotura	15,46
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	10,52	1mm	458,29
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	21,52	2mm	937,49
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	31,25	3mm	1361,62



ENSAYO A FLEXIÓN (ASTM 1609)

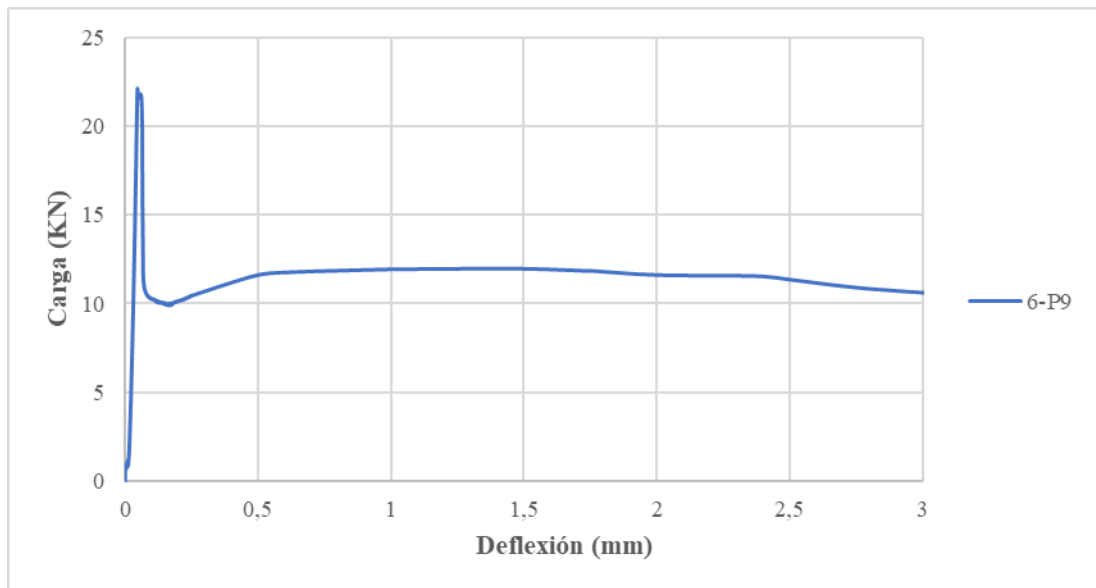
Probeta

6-P9

Longitud entre apoyos (mm):	450	Ubicación de la falla:	Tercio medio
Ancho de la probeta (mm):	150	Altura de la probeta (mm):	151
Longitud de fractura (mm):	152		



Deflexión en la rotura (mm):	0,05	Esfuerzo máximo (Mpa):	2,93
Carga máxima (N):	22290,8 2	Esfuerzo L/600 (Mpa):	1,51
Carga L/600 (0,75mm) (N):	11457,4 4	Esfuerzo L/150 (Mpa):	1,40
Carga L/150 (3mm) (N):	10617,5 3	Energía de Rotura (N/m)	
Trabajo de fractura (rotura-3mm) (KN-mm):	33,43	Rotura - 3mm	1466,02
Trabajo de fractura (rotura) (KN-mm):	0,35	Rotura	15,28
Trabajo de fractura (1mm) (KN-mm):	11,19	1mm	490,68
Trabajo de fractura (2mm) (KN-mm):	22,73	2mm	996,89
Trabajo de fractura (3mm) (KN-mm):	33,77	3mm	1481,31

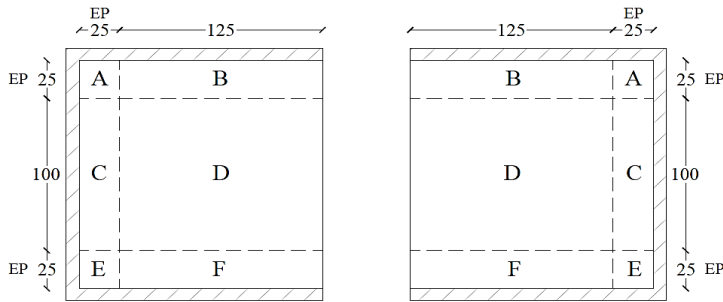


Anexo 13. Resultados del conteo de fibras

CONTEO DE FIBRAS

Probeta 3-P1 **Sección:** 150mm x 150mm
Longitud de fibra: 50 mm

Longitud de la probeta (mm):	504	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	156	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,034
Ancho de la probeta (mm):	148	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	36971,687
Altura de la probeta (mm):	152	Fracción volumétrica (Vf):	0,003
Volumen de la probeta (mm ³):	11337984	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	3		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	0	4	0	0	4	0
B	7	7	0	5	11	0
C	5	10	1	3	8	0
D	16	41	4	15	43	4
E	1	2	0	2	2	0
F	4	5	1	1	14	0

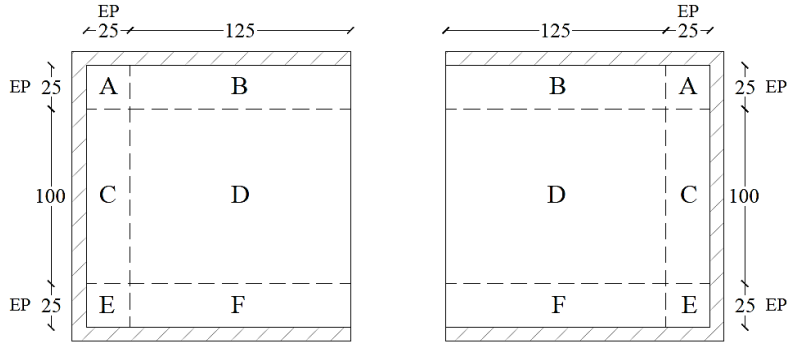
Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	0	4	0	4	5	0,800
B	6	9	0	15	27	0,556
C	4	9	1	13	23	0,565
D	16	42	4	58	114	0,509
E	2	2	0	4	5	0,800
F	3	10	1	13	27	0,481
Sumatoria Parcial	31	76	6			
Total (Número Contado)				107	201	0,532

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,800	Θ (E)	0,800
Θ (B)	0,556	Θ (F)	0,481
Θ (C)	0,565	Θ (TOTAL)	0,532
Θ (D)	0,509		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta **3-P2** **Sección:** 150mm x 150mm
Longitud de fibra: 50 mm

Longitud de la probeta (mm):	505	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	157	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,034
Ancho de la probeta (mm):	149	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	37295,348
Altura de la probeta (mm):	152	Fracción volumétrica (Vf):	0,003
Volumen de la probeta (mm ³):	11437240	Diámetro de la fibra (mm):	0,69



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	0	4	0	2	0	0
B	3	7	3	2	15	0
C	2	10	0	0	14	0
D	4	44	1	2	55	1
E	0	3	0	0	2	0
F	1	7	0	2	15	0

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	1	2	0	3	5	0,600
B	3	11	2	14	27	0,519
C	1	12	0	13	23	0,565
D	3	50	1	53	116	0,457
E	0	3	0	3	5	0,600
F	2	11	0	13	27	0,481
Sumatoria Parcial	10	89	3			
Total (Número Contado)				99	204	0,485

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,600	Θ (E)	0,600
Θ (B)	0,519	Θ (F)	0,481
Θ (C)	0,565	Θ (TOTAL)	0,485
Θ (D)	0,457		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

3-P3

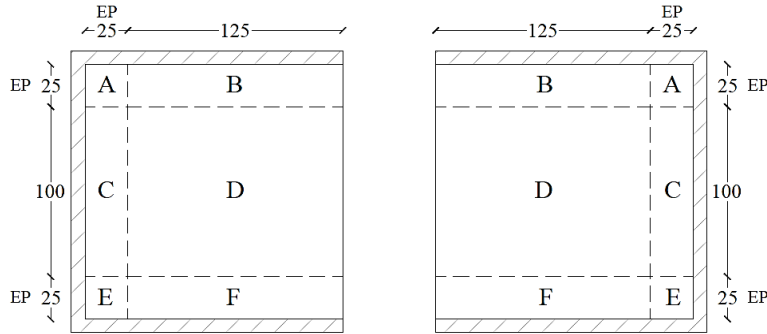
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	504	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	154	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,034
Ancho de la probeta (mm):	150	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	37471,304
Altura de la probeta (mm):	152	Fracción volumétrica (Vf):	0,003
Volumen de la probeta (mm ³):	11491200	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	3		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	0	4	0	3	1	0
B	3	10	1	4	6	1
C	4	17	1	3	15	0
D	7	45	4	6	43	1
E	1	3	1	1	3	0
F	3	14	0	1	13	0

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	2	3	0	5	5	1,000
B	4	8	1	12	27	0,444
C	4	16	1	20	23	0,870
D	7	44	3	51	113	0,451
E	1	3	1	4	5	0,800
F	2	14	0	16	27	0,593
Sumatoria Parcial	20	88	6			
Total (Número Contado)				108	201	0,537

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	1,000	Θ (E)	0,800
Θ (B)	0,444	Θ (F)	0,593
Θ (C)	0,870	Θ (TOTAL)	0,537
Θ (D)	0,451		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

3-P4

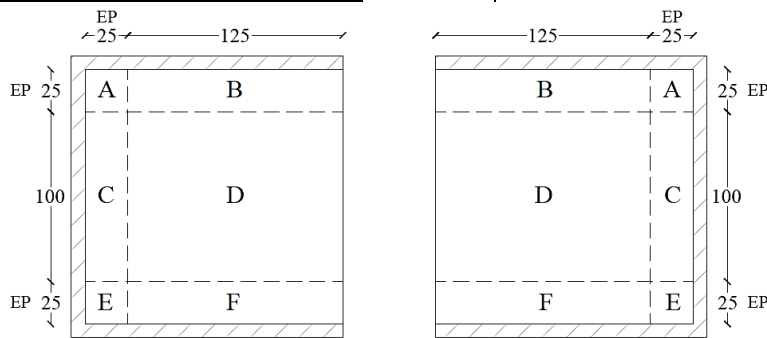
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	506	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	157	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,034
Ancho de la probeta (mm):	149	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	37369,200
Altura de la probeta (mm):	152	Fracción volumétrica (Vf):	0,003
Volumen de la probeta (mm ³):	11459888	Diámetro de la fibra (mm):	0,69



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	1	5	0	0	2	0
B	3	8	0	2	16	0
C	3	10	0	4	8	1
D	5	40	2	7	41	1
E	1	4	0	1	1	0
F	3	7	0	2	10	0

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	1	4	0	5	5	1,000
B	3	12	0	15	27	0,556
C	4	9	1	13	23	0,565
D	6	41	2	47	116	0,405
E	1	3	0	4	5	0,800
F	3	9	0	12	27	0,444
Sumatoria Parcial	18	78	3			
Total (Número Contado)				96	204	0,471

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	1,000	Θ (E)	0,800
Θ (B)	0,556	Θ (F)	0,444
Θ (C)	0,565	Θ (TOTAL)	0,471
Θ (D)	0,405		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

3-P5

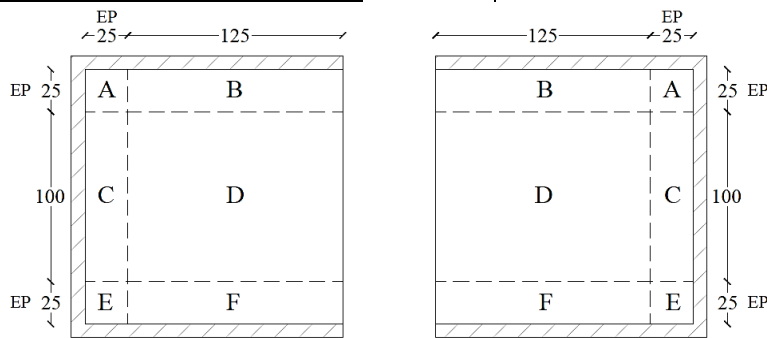
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	505	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	153	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,034
Ancho de la probeta (mm):	148	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	36557,609
Altura de la probeta (mm):	150	Fracción volumétrica (V _f):	0,003
Volumen de la probeta (mm ³):	11211000	Diámetro de la fibra (mm):	0,69



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	1	1	0	0	3	0
B	1	23	0	3	10	0
C	0	6	1	1	10	0
D	1	30	1	4	35	1
E	1	1	1	0	3	0
F	0	10	0	3	12	1

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	1	2	0	3	5	0,600
B	2	17	0	19	27	0,704
C	1	8	1	9	22	0,409
D	3	33	1	36	110	0,327
E	1	2	1	3	5	0,600
F	2	11	1	13	27	0,481
Sumatoria Parcial	10	73	4			
Total (Número Contado)				83	197	0,421

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,600	Θ (E)	0,600
Θ (B)	0,704	Θ (F)	0,481
Θ (C)	0,409	Θ (TOTAL)	0,421
Θ (D)	0,327		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

3-P6

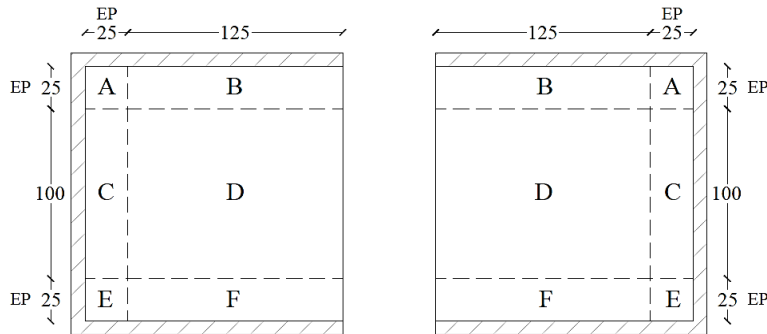
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	506	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	153	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,034
Ancho de la probeta (mm):	149	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	37123,350
Altura de la probeta (mm):	151	Fracción volumétrica (Vf):	0,003
Volumen de la probeta (mm ³):	11384494	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	3		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	0	4	0	1	4	0
B	3	8	0	4	11	1
C	2	11	0	4	4	0
D	9	43	1	15	28	0
E	0	4	0	2	2	0
F	3	8	0	3	11	1

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	1	4	0	5	5	1,000
B	4	10	1	14	27	0,519
C	3	8	0	11	22	0,500
D	12	36	1	48	111	0,432
E	1	3	0	4	5	0,800
F	3	10	1	13	27	0,481
Sumatoria Parcial	24	71	3			
Total (Número Contado)				95	199	0,477

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	1,000	Θ (E)	0,800
Θ (B)	0,519	Θ (F)	0,481
Θ (C)	0,500	Θ (TOTAL)	0,477
Θ (D)	0,432		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

3-P7

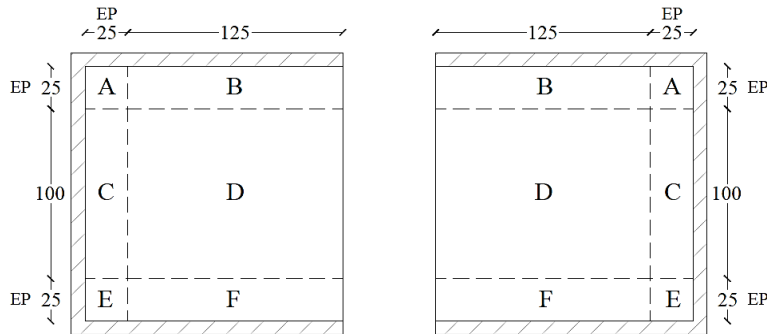
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	504	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	151	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,034
Ancho de la probeta (mm):	151	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	37224,783
Altura de la probeta (mm):	150	Fracción volumétrica (Vf):	0,003
Volumen de la probeta (mm ³):	11415600	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	3		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	1	2	0	0	3	0
B	3	5	0	4	7	1
C	7	7	1	2	10	0
D	13	31	4	13	34	4
E	2	2	0	1	1	0
F	5	11	0	5	7	0

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	1	3	0	4	5	0,800
B	4	6	1	10	27	0,370
C	5	9	1	14	22	0,636
D	13	33	4	46	111	0,414
E	2	2	0	4	5	0,800
F	5	9	0	14	27	0,519
Sumatoria Parcial	30	62	6			
Total (Número Contado)				92	199	0,462

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,800	Θ (E)	0,800
Θ (B)	0,370	Θ (F)	0,519
Θ (C)	0,636	Θ (TOTAL)	0,462
Θ (D)	0,414		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

3-P8

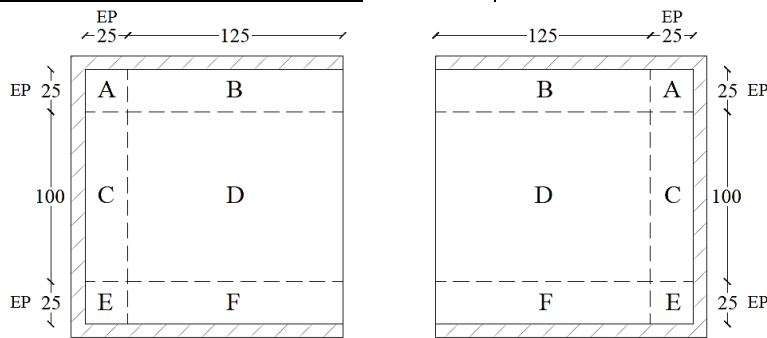
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	507	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	153	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,034
Ancho de la probeta (mm):	149	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	36950,380
Altura de la probeta (mm):	150	Fracción volumétrica (Vf):	0,003
Volumen de la probeta (mm ³):	11331450	Diámetro de la fibra (mm):	0,69



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	1	3	0	0	1	0
B	3	14	0	1	10	0
C	0	11	1	3	3	1
D	11	31	6	11	29	6
E	1	0	0	0	4	1
F	4	14	0	4	10	1

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	1	2	0	3	5	0,600
B	2	12	0	14	27	0,519
C	2	7	1	9	22	0,409
D	11	30	6	41	111	0,369
E	1	2	1	3	5	0,600
F	4	12	1	16	27	0,593
Sumatoria Parcial	21	65	9			
Total (Número Contado)				86	199	0,432

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,600	Θ (E)	0,600
Θ (B)	0,519	Θ (F)	0,593
Θ (C)	0,409	Θ (TOTAL)	0,432
Θ (D)	0,369		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

3-P9

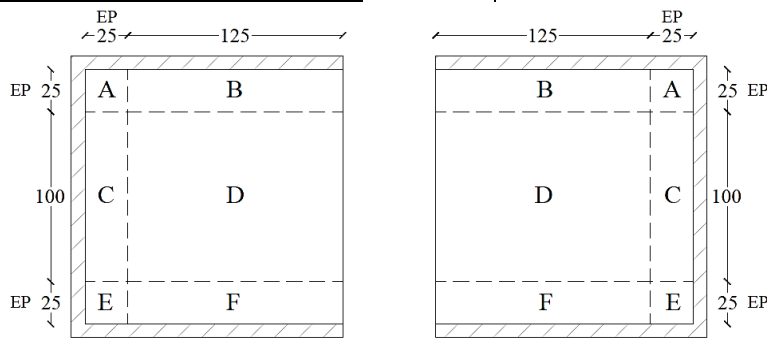
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	504	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	152	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,034
Ancho de la probeta (mm):	148	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	36485,217
Altura de la probeta (mm):	150	Fracción volumétrica (V _f):	0,003
Volumen de la probeta (mm ³):	11188800	Diámetro de la fibra (mm):	0,69



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	1	3	0	0	6	0
B	4	4	0	3	13	1
C	4	4	0	4	6	0
D	10	22	1	3	42	6
E	1	3	0	0	3	0
F	3	4	1	1	11	3

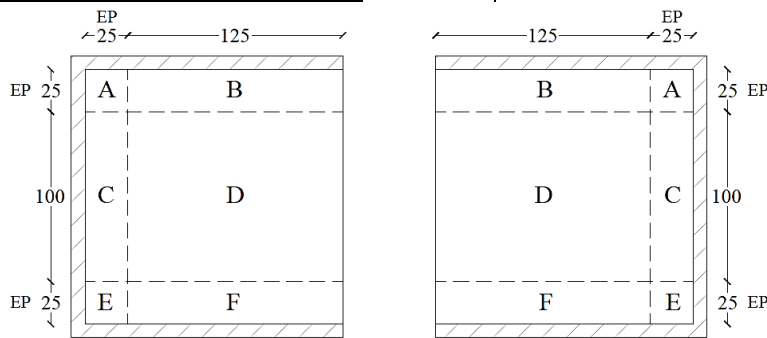
Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	1	5	0	6	5	1,200
B	4	9	1	13	27	0,481
C	4	5	0	9	22	0,409
D	7	32	4	39	109	0,358
E	1	3	0	4	5	0,800
F	2	8	2	10	27	0,370
Sumatoria Parcial	19	62	7			
Total (Número Contado)				81	196	0,413

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	1,200	Θ (E)	0,800
Θ (B)	0,481	Θ (F)	0,370
Θ (C)	0,409	Θ (TOTAL)	0,413
Θ (D)	0,358		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta **6-P1** **Sección:** 150mm x 150mm
Longitud de fibra: 50 mm

Longitud de la probeta (mm):	505	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	156	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,069
Ancho de la probeta (mm):	149	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	74590,696
Altura de la probeta (mm):	152	Fracción volumétrica (V _f):	0,007
Volumen de la probeta (mm ³):	11437240	Diámetro de la fibra (mm):	0,69



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	2	8	2	4	5	1
B	8	14	2	7	18	0
C	13	14	0	5	25	1
D	22	60	2	25	49	4
E	4	5	0	2	2	0
F	10	19	0	6	26	2

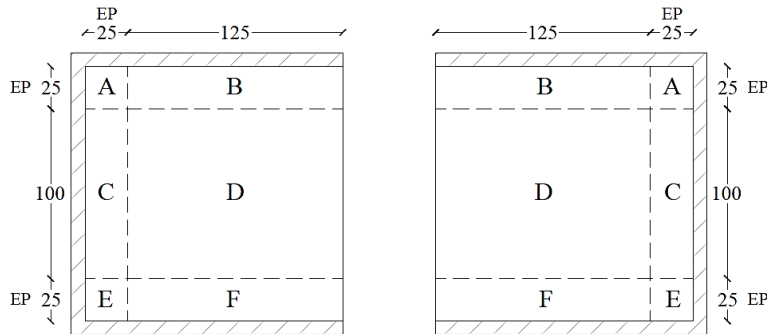
Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	3	7	2	10	11	0,909
B	8	16	1	24	54	0,444
C	9	20	1	29	46	0,630
D	24	55	3	79	229	0,345
E	3	4	0	7	11	0,636
F	8	23	1	31	54	0,574
Sumatoria Parcial	55	125	8			
Total (Número Contado)				180	405	0,444

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,909	Θ (E)	0,636
Θ (B)	0,444	Θ (F)	0,574
Θ (C)	0,630	Θ (TOTAL)	0,444
Θ (D)	0,345		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta **6-P2**
Sección: 150mm x 150mm
Longitud de fibra: 50 mm

Longitud de la probeta (mm):	506	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	151	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,068
Ancho de la probeta (mm):	148	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	73748,400
Altura de la probeta (mm):	151	Fracción volumétrica (Vf):	0,007
Volumen de la probeta (mm ³):	11308088	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	6		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	2	4	0	3	7	1
B	6	21	3	13	8	1
C	15	20	1	9	26	0
D	23	55	7	26	51	10
E	7	7	0	3	7	1
F	4	14	1	11	9	1

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	3	6	1	9	11	0,818
B	10	15	2	25	54	0,463
C	12	23	1	35	44	0,795
D	25	53	9	78	217	0,359
E	5	7	1	12	11	1,091
F	8	12	1	20	54	0,370
Sumatoria Parcial	63	116	15			
Total (Número Contado)				179	390	0,459

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,818	Θ (E)	1,091
Θ (B)	0,463	Θ (F)	0,370
Θ (C)	0,795	Θ (TOTAL)	0,459
Θ (D)	0,359		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

6-P3

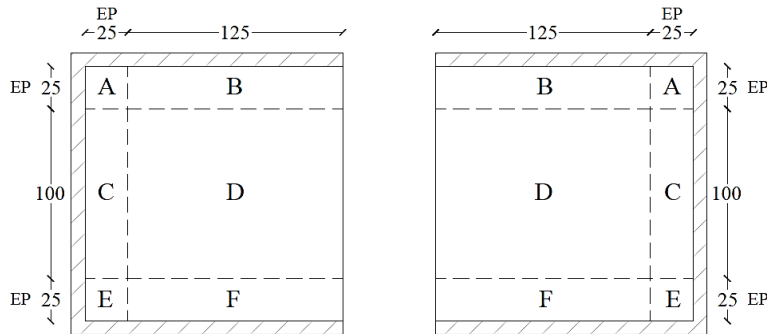
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	505	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	155	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,068
Ancho de la probeta (mm):	148	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	73602,652
Altura de la probeta (mm):	151	Fracción volumétrica (Vf):	0,007
Volumen de la probeta (mm ³):	11285740	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	6		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	1	8	0	3	3	0
B	5	16	0	5	21	1
C	9	23	4	10	26	3
D	29	52	5	20	49	1
E	1	8	0	1	4	0
F	10	13	0	8	18	5

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	2	6	0	8	11	0,727
B	5	19	1	24	54	0,444
C	10	25	4	35	46	0,761
D	25	51	3	76	225	0,338
E	1	6	0	7	11	0,636
F	9	16	3	25	54	0,463
Sumatoria Parcial	52	123	11			
Total (Número Contado)				175	400	0,438

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,727	Θ (E)	0,636
Θ (B)	0,444	Θ (F)	0,463
Θ (C)	0,761	Θ (TOTAL)	0,438
Θ (D)	0,338		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

6-P4

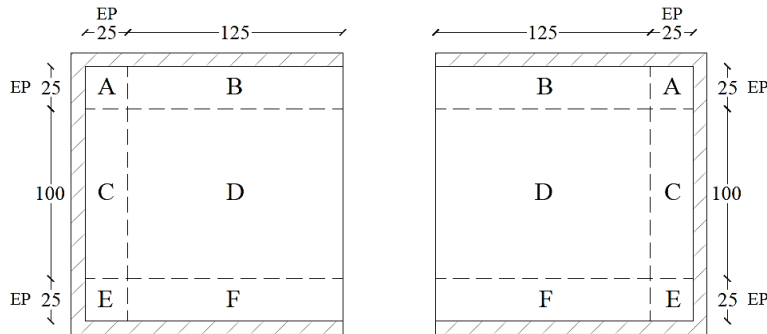
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	505	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	154	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,069
Ancho de la probeta (mm):	150	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	75091,304
Altura de la probeta (mm):	152	Fracción volumétrica (Vf):	0,007
Volumen de la probeta (mm ³):	11514000	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	6		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	3	4	2	3	8	1
B	9	15	3	8	28	0
C	12	15	2	8	19	1
D	22	53	3	23	58	7
E	3	11	1	3	5	0
F	3	19	2	7	13	1

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	3	6	2	9	11	0,818
B	9	22	2	31	55	0,564
C	10	17	2	27	45	0,600
D	23	56	5	79	227	0,348
E	3	8	1	11	11	1,000
F	5	16	2	21	55	0,382
Sumatoria Parcial	53	125	14			
Total (Número Contado)				178	403	0,442

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,818	Θ (E)	1,000
Θ (B)	0,564	Θ (F)	0,382
Θ (C)	0,600	Θ (TOTAL)	0,442
Θ (D)	0,348		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

6-P5

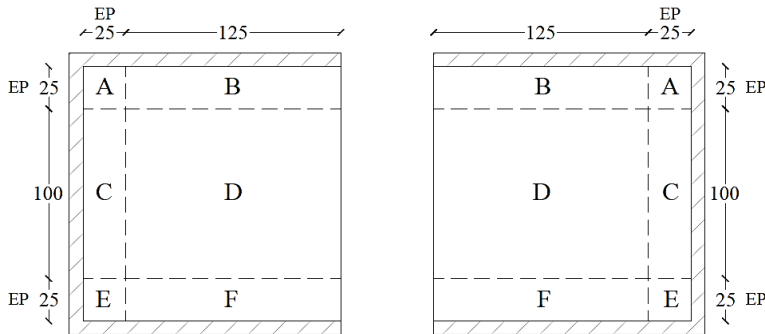
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	506	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	152	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,068
Ancho de la probeta (mm):	148	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	74236,800
Altura de la probeta (mm):	152	Fracción volumétrica (Vf):	0,007
Volumen de la probeta (mm ³):	11382976	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	6		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	3	6	0	2	3	0
B	9	9	6	11	15	15
C	13	18	2	13	25	3
D	24	40	10	23	57	7
E	1	8	0	1	9	1
F	8	13	0	8	15	1

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	3	5	0	8	11	0,727
B	10	12	11	22	54	0,407
C	13	22	3	35	44	0,795
D	24	49	9	73	219	0,333
E	1	9	1	10	11	0,909
F	8	14	1	22	54	0,407
Sumatoria Parcial	59	111	25			
Total (Número Contado)				170	392	0,434

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,727	Θ (E)	0,909
Θ (B)	0,407	Θ (F)	0,407
Θ (C)	0,795	Θ (TOTAL)	0,434
Θ (D)	0,333		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

6-P6

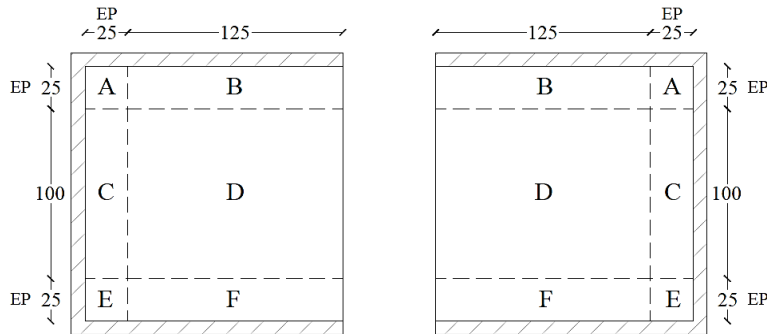
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	505	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	152	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,068
Ancho de la probeta (mm):	148	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	73602,652
Altura de la probeta (mm):	151	Fracción volumétrica (Vf):	0,007
Volumen de la probeta (mm ³):	11285740	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	6		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	7	1	0	3	8	1
B	13	14	1	10	27	1
C	13	8	1	7	20	1
D	34	64	7	32	56	3
E	4	7	0	1	6	0
F	3	24	0	11	17	1

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	5	5	1	10	11	0,909
B	12	21	1	33	54	0,611
C	10	14	1	24	44	0,545
D	33	60	5	93	219	0,425
E	3	7	0	10	11	0,909
F	7	21	1	28	54	0,519
Sumatoria Parcial	70	128	9			
Total (Número Contado)				198	392	0,505

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,909	Θ (E)	0,909
Θ (B)	0,611	Θ (F)	0,519
Θ (C)	0,545	Θ (TOTAL)	0,505
Θ (D)	0,425		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

6-P7

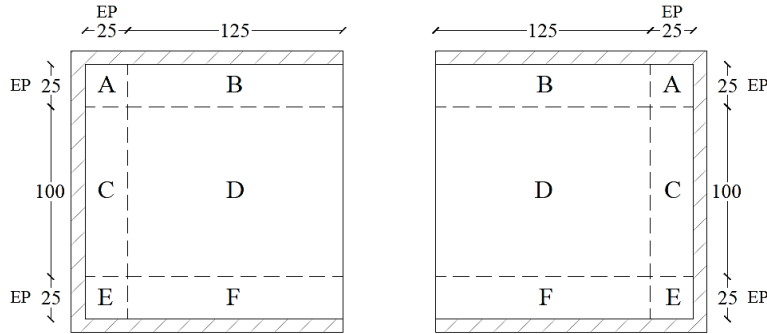
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	504	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	154	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,068
Ancho de la probeta (mm):	149	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	73463,478
Altura de la probeta (mm):	150	Fracción volumétrica (Vf):	0,007
Volumen de la probeta (mm ³):	11264400	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	6		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	3	5	0	5	1	0
B	8	16	4	8	18	0
C	5	17	4	7	16	0
D	23	65	4	33	79	1
E	3	4	0	3	5	0
F	7	18	0	7	14	4

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	4	3	0	7	11	0,636
B	8	17	2	25	54	0,463
C	6	17	2	23	45	0,511
D	28	72	3	100	225	0,444
E	3	5	0	8	11	0,727
F	7	16	2	23	54	0,426
Sumatoria Parcial	56	130	9			
Total (Número Contado)				186	400	0,465

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,636	Θ (E)	0,727
Θ (B)	0,463	Θ (F)	0,426
Θ (C)	0,511	Θ (TOTAL)	0,465
Θ (D)	0,444		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

6-P8

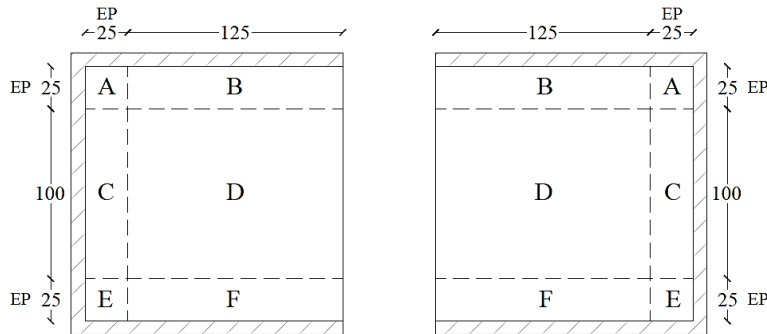
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	506	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	153	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,069
Ancho de la probeta (mm):	150	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	74745,000
Altura de la probeta (mm):	151	Fracción volumétrica (Vf):	0,007
Volumen de la probeta (mm ³):	11460900	Diámetro de la fibra (mm):	0,69
Dosificación de fibras (kg/m ³):	6		



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	1	7	0	3	8	1
B	10	10	5	8	23	5
C	8	18	0	5	17	1
D	25	68	7	29	55	4
E	3	4	0	1	5	0
F	7	12	3	9	16	3

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	2	8	1	10	11	0,909
B	9	17	5	26	55	0,473
C	7	18	1	25	45	0,556
D	27	62	6	89	225	0,396
E	2	5	0	7	11	0,636
F	8	14	3	22	55	0,400
Sumatoria Parcial	55	124	16			
Total (Número Contado)				179	400	0,448

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,909	Θ (E)	0,636
Θ (B)	0,473	Θ (F)	0,400
Θ (C)	0,556	Θ (TOTAL)	0,448
Θ (D)	0,396		

CONTEO DE FIBRAS

Probeta

6-P9

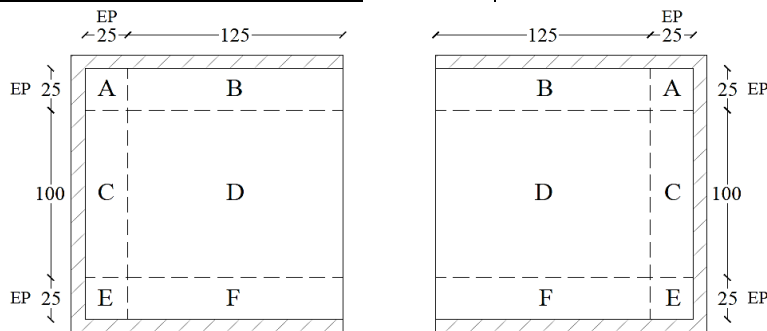
Sección:

150mm x 150mm

Longitud de fibra:

50 mm

Longitud de la probeta (mm):	504	Densidad de fibra (kg/m ³):	920
Longitud de fractura (mm):	152	Masa de fibras en la probeta (kg):	0,068
Ancho de la probeta (mm):	150	Volumen de fibras en la probeta (mm ³):	74449,565
Altura de la probeta (mm):	151	Fracción volumétrica (Vf):	0,007
Volumen de la probeta (mm ³):	11415600	Diámetro de la fibra (mm):	0,69



Zona	Semisección 1			Semisección 2		
	Rota	Desliza	Mal Situada	Rota	Desliza	Mal Situada
A	1	7	1	1	7	1
B	20	14	3	4	22	3
C	5	20	1	5	14	4
D	31	61	7	30	69	10
E	1	5	1	0	5	3
F	4	18	0	4	23	1

Zona	Sección Completa			Número Contado	Número Teórico	Coeficiente
	Rota	Desliza	Mal Situada			
A	1	7	1	8	11	0,727
B	12	18	3	30	55	0,545
C	5	17	3	22	44	0,500
D	31	65	9	96	222	0,432
E	1	5	2	6	11	0,545
F	4	21	1	25	55	0,455
Sumatoria Parcial	54	133	19			
Total (Número Contado)				187	398	0,470

RESUMEN-COEFICIENTE DE ORIENTACIÓN			
Θ (A)	0,727	Θ (E)	0,545
Θ (B)	0,545	Θ (F)	0,455
Θ (C)	0,500	Θ (TOTAL)	0,470
Θ (D)	0,432		

Anexo 14. Anexo Fotográfico

Mina “La Playa”



Ensayos de las propiedades de los agregados





Elaboración de probetas







Desmoldado y curado de probetas



Etiquetado de probetas



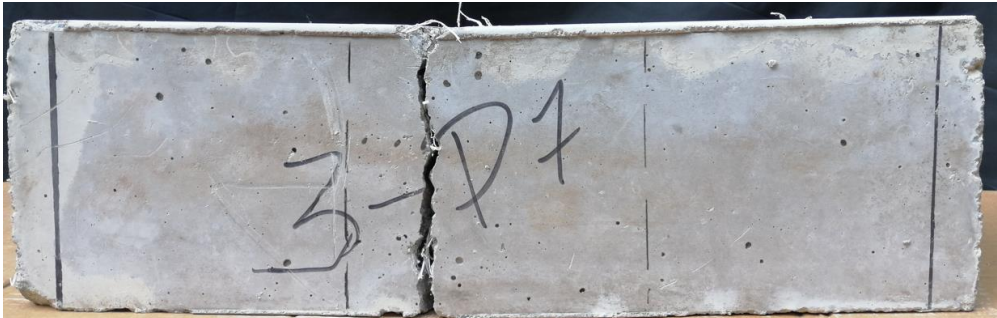
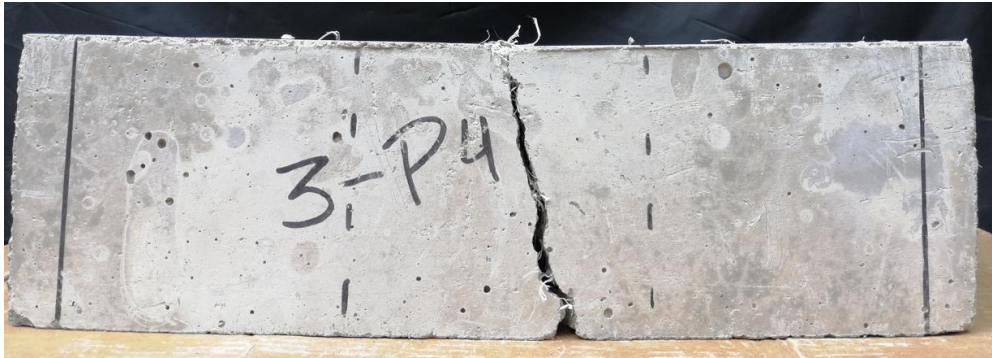
Preparación de la probeta para el ensayo







Probetas ensayadas



Trazado de zonas para conteo de fibras





Ensayo a compresión



