

## Anejo F

# Listados y referencias

# Listado de Figuras

2.1. Distribución tangencial de tensiones en un elemento de hormigón convencional fisurado . . . . .	4
2.2. Transmisión de esfuerzos tangenciales a lo largo de una fisura por engranamiento de áridos . . . . .	5
2.3. Transmisión de esfuerzos tangenciales por efecto pasador . . . . .	6
2.4. Transmisión de esfuerzos en fisura con fibras . . . . .	7
2.5. Efecto arco en una viga de hormigón <sup>[6]</sup> . . . . .	7
2.6. Analogía de celosía en el interior de una viga con armadura a cortante de Ritter-Morsch . . . . .	8
2.7. Modos de fallo en una viga esbelta <sup>[11]</sup> . . . . .	10
2.8. Fisuración según el modo de fallo . . . . .	11
2.9. Secciones transversales tipo de fibras . . . . .	14
2.10. Formas de las fibras <sup>[12]</sup> . . . . .	15
2.11. Propiedades físicas de las fibras según material y diámetro <sup>[12]</sup> . . . . .	15
2.12. Distintos tipos de fibra disponibles actualmente <sup>[12]</sup> . . . . .	16
2.13. Comportamiento de las fibras en tracción <sup>[12]</sup> . . . . .	17
2.14. Ensayos frente a esfuerzo cortante en vigas con fibras de acero . . . . .	18
2.15. Comparación de resistencia a flexión con dosificación de fibras de polipropileno . . . . .	21
2.16. Comportamiento del hormigón con distintas dosificaciones de fibra de polipropileno . . . . .	21
2.17. Ejes en modelo elástico tridimensional . . . . .	24
2.18. Comportamiento no lineal elástico en un suelo tipo <i>MatLib DIANA (2016)</i> <sup>[49]</sup> . . . . .	26
2.19. Comportamiento en función de la fase elástica y el parámetro de estado interno k del material <i>UPTC</i> . . . . .	28
2.20. Comparativa entre criterios de plastificación de Tresca y Von Mises . . . . .	29
2.21. Superficie de plastificación de Von Mises . . . . .	30
2.22. Ejemplo de modelo de fisuración discreta mediante elementos de interfaz . . . . .	32
2.23. Módulos de rigidez secantes en modo de fractura I y II respectivamente . . . . .	35
2.24. Relación entre parámetros tradicionales y de fisuración secantes . . . . .	35
2.25. Modelo de fisuración discreta particularizado para una fisura determinada . . . . .	40
2.26. Procesos de generación de fisuras en modelos multidireccionales . . . . .	44
2.27. Esquema del proceso de carga-descarga . . . . .	51
2.28. Banda de integración tipo <sup>[52]</sup> . . . . .	53
2.29. Ecuaciones constitutivas usuales del hormigón a compresión . . . . .	57
2.30. Función de Thorenfeldt . . . . .	58
2.31. Función parabólica en energía de fractura . . . . .	59
2.32. Función parabólica en energía de fractura . . . . .	60
2.33. Función parabólica del Eurocódigo 2 . . . . .	60
2.34. Función de debilitamiento exponencial en tracción . . . . .	62
2.35. Función de debilitamiento no lineal en tracción (Hordijk) . . . . .	63
2.36. Función no lineal según Código Modelo 2010 . . . . .	64
2.37. Ejemplo de función constante, Código Modelo 2010 <sup>[57]</sup> . . . . .	65

2.38. Ejemplo de función lineal a tracción . . . . .	65
2.39. Ejemplo de función frágil a tracción <sup>[49]</sup> . . . . .	66
2.40. Ejemplo de función frágil a tracción <sup>[49]</sup> . . . . .	67
2.41. Curva de Thorenfeldt con diferentes estados de confinamiento . . . . .	69
2.42. Factor de reducción debido a la fisuración lateral (Vecchio Collins) <sup>[59]</sup> . . . . .	70
2.43. Función tipo carga aplicada vs apertura de fisura $F - CMOD$ <sup>[57]</sup> . . . . .	72
2.44. Esquema de análisis inverso en prueba a flexión <sup>[57]</sup> . . . . .	73
2.45. Esquema de fisuración en viga, variabilidad del ángulo de inclinación <sup>[57]</sup> . . . . .	78
2.46. Esquema de campo de deformaciones y esfuerzos en el nivel de aproximación II <sup>[57]</sup> . . . . .	78
2.47. Resumen de expresiones hasta la actualidad para la determinación de resistencia a cortante en vigas SFCR, sin armado a cortante <sup>[63]</sup> . . . . .	86
3.1. Resultados por viga en campañas previas <sup>[1, 2]</sup> . . . . .	90
3.2. Resumen de resultados por campaña y análisis comparativo <sup>[1, 2]</sup> . . . . .	90
3.3. Esquema de nomenclatura en vigas . . . . .	91
3.4. Luces de las vigas objeto de estudio, vanos tipo 1 y 2 . . . . .	91
3.5. Secciones transversales de la serie de vigas de acero . . . . .	92
3.6. Secciones transversales de la serie de vigas de polipropileno . . . . .	92
3.7. Especificación de fibra Dramix 5D proveniente de la ficha técnica . . . . .	94
3.8. Vista de fibras empleadas en vigas SFRC . . . . .	95
3.9. Fibras de polipropileno extruido . . . . .	96
3.10. Proceso de fabricación de vigas . . . . .	97
3.11. Proceso de fabricación de probetas de acompañamiento . . . . .	97
3.12. Sistemas de apoyo de vigas para ensayo . . . . .	98
3.13. Sistema de aplicación de carga en viga . . . . .	98
3.14. Esquema de instrumentación en vigas . . . . .	99
3.15. Instrumentación en viga previa a la puesta en carga . . . . .	99
3.16. Probeta cilíndrica en ensayo UNE-EN 12390 . . . . .	100
3.17. Ensayo para determinación de resistencias residuales a tracción según UNE-EN 14651 . . . . .	101
3.18. Dispositivo de pruebas en acero . . . . .	101
3.19. Probetas cilíndricas refrentadas con azufre para ensayo . . . . .	102
3.20. Procedimiento de ensayo a flexotracción en probeta . . . . .	105
3.21. Esquema tipo de función y valores de desplazamiento CMOD medidos . . . . .	105
3.22. Funciones carga-CMOD obtenidas en probetas con fibras de polipropileno . . . . .	107
3.23. Funciones carga-CMOD obtenidas en probetas con fibras de acero . . . . .	107
3.24. Funciones características de comportamiento carga-apertura de fisura en hormigones con fibras ensayados . . . . .	108
3.25. Función ejemplo multi-lineal a tracción en el hormigón, con comparativa con el Código Modelo 2010. . . . .	127
3.26. Función parabólica proveniente del Código Modelo 2010. . . . .	128
3.27. Función parabólica proveniente del Código Modelo 2010. . . . .	128
3.28. Procedimiento de cálculo seccional con bandas de integración <sup>[57]</sup> . . . . .	129
3.29. Ejemplo de ajuste de curva obtenida y curva de ensayo . . . . .	130
3.30. Funciones multi-lineales de comportamiento a tracción con crackband=2.5cm . . . . .	131
3.31. Funciones multi-lineales de comportamiento a tracción con crackband=6.0cm . . . . .	131
3.32. Comparación de comportamientos carga-abertura de fisura en fibras de acero y cb=2.5cm . . . . .	132
3.33. Comparación de comportamientos carga-abertura de fisura en fibras de acero y cb=6.0cm . . . . .	132
3.34. Comparación de comportamientos carga-abertura de fisura en fibras de polipropileno y cb=2.5cm . . . . .	133

3.35. Comparación de comportamientos carga-abertura de fisura en fibras de polipropileno y $c_b=6.0\text{cm}$ . . . . .	133
3.36. Página de ejecución del programa principal. . . . .	134
3.37. Archivos en formato python generados tras ejecución del programa principal en VBA. . . . .	135
3.38. Obtención de resultados del programa DIANA. Volcado de datos. . . . .	135
3.39. Esquema del procedimiento de trabajo seguido para la obtención de resultados. . . . .	136
3.40. Elemento cuadrilátero de 8 nodos. . . . .	137
3.41. Elemento triangular de 6 nodos. . . . .	137
3.42. Vista del armado en una de las vigas estudiadas en el modelo. . . . .	138
3.43. Zona del elemento interfaz. . . . .	138
3.44. Apoyos tipo en viga estudiada. . . . .	138
3.45. Esquema de la metodología arc-length para el cálculo no lineal <sup>[66]</sup> . . . . .	139
3.46. Inicio de la fisuración en viga . . . . .	208
3.47. Progreso de la fisuración distribuida . . . . .	208
3.48. Fisuración próxima a cambio de rigidez en la viga . . . . .	208
3.49. Intento de rotación de las fisuras, imposibilidad de convergencia por pasos pequeños y redistribución de esfuerzos necesaria . . . . .	208
3.50. Redistribución de esfuerzos en viga con fibra de polipropileno con mayor paso . . . . .	209
3.51. Redistribución de esfuerzos en viga con fibra de acero con mayor paso . . . . .	209
3.52. Modo de fallo en viga sin estribos, no se alcanza rotura . . . . .	210
3.53. Modo de fallo en viga con estribos, fisuración distribuida . . . . .	210
4.1. Vista general del modelo analítico de la nave comercial . . . . .	212
4.2. Vista en planta de cimentación, tipologías de encepado . . . . .	212
4.3. Sistema de pilares . . . . .	213
4.4. Sección en zona de altillos . . . . .	213
4.5. Planta general de altillos . . . . .	214
4.6. Estructura de altillo técnico . . . . .	214
4.7. Estructura de altillo dependencias . . . . .	215
4.8. Sistema estructural de cubierta . . . . .	216
4.9. Geometría y armado de viga L1C . . . . .	217
4.10. Geometría y armado de viga L1S . . . . .	218
4.11. Geometría y armado de viga L1P . . . . .	218
4.12. Geometría y armado de viga T1C . . . . .	219
4.13. Geometría y armado de viga T1S . . . . .	219
4.14. Geometría y armado de viga T1P . . . . .	220
4.15. Curva constitutiva del hormigón a compresión EN 1992-1-1:2004 <sup>[62]</sup> . . . . .	221
4.16. Funciones multi-lineales de comportamiento a tracción con $\text{crackband}=2.5\text{cm}$ . . . . .	222
4.17. Elemento cuadrilátero de 8 nodos. . . . .	223
4.18. Elemento triangular de 6 nodos. . . . .	223
4.19. Vista del armado en una de las vigas estudiadas (T1S). . . . .	223
4.20. Vista del mapa de fisuración en una de las vigas estudiadas (T1S). . . . .	224
4.21. Esquema de la metodología arc-length para el cálculo no lineal <sup>[66]</sup> . . . . .	224
4.22. Curvas carga-flecha obtenidas en vigas en L . . . . .	225
4.23. Curvas carga-flecha obtenidas en vigas en T . . . . .	226
4.24. Mapa de fisuración en viga L1C . . . . .	227
4.25. Mapa de fisuración en viga L1S . . . . .	227
4.26. Mapa de fisuración en viga L1P . . . . .	227
4.27. Mapa de fisuración en viga T1C . . . . .	228
4.28. Mapa de fisuración en viga T1S . . . . .	228
4.29. Mapa de fisuración en viga T1P . . . . .	228

# Listado de Tablas

3.1. Geometría de vigas ensayadas por Bresler y Scordelis <sup>[1]</sup> . . . . .	87
3.2. Geometría de vigas ensayadas por Vecchio y Shim <sup>[2]</sup> . . . . .	88
3.3. Acero en vigas ensayadas por Bresler y Scordelis <sup>[1]</sup> . . . . .	88
3.4. Acero en vigas ensayadas por Vecchio y Shim <sup>[2]</sup> . . . . .	88
3.5. Hormigón en vigas ensayadas por Bresler y Scordelis <sup>[1]</sup> . . . . .	89
3.6. Hormigón en vigas ensayadas por Vecchio y Shim <sup>[2]</sup> . . . . .	89
3.7. Características geométricas y armado en series de vigas analizadas. . . . .	93
3.8. Materiales empleados en la fabricación de vigas SFRC . . . . .	93
3.9. Características mecánicas de las fibras 5D Dramix. . . . .	94
3.10. Materiales empleados en la fabricación de vigas PFRC . . . . .	95
3.11. Características mecánicas de las fibras MasterFiber249. . . . .	96
3.12. Tabla resumen de probetas de hormigón ensayadas . . . . .	103
3.13. Tabla resumen de ensayos en probetas cilíndricas . . . . .	104
3.14. Resumen de resultados en probetas prismáticas . . . . .	106
3.15. Resumen de resultados estadísticos en probetas prismáticas . . . . .	107
3.16. Resumen de resultados en probetas de hormigón . . . . .	108
3.17. Tabla resumen de barras de acero ensayadas por diámetro y tipo de viga . . . . .	109
3.18. Ficha resumen de ensayo en viga 0AS1 . . . . .	110
3.19. Ficha resumen de ensayo en viga 0AS2 . . . . .	111
3.20. Ficha resumen de ensayo en viga 0BS1 . . . . .	112
3.21. Ficha resumen de ensayo en viga 0BS2 . . . . .	113
3.22. Ficha resumen de ensayo en viga AS1 . . . . .	114
3.23. Ficha resumen de ensayo en viga AS2 . . . . .	115
3.24. Ficha resumen de ensayo en viga BS1 . . . . .	116
3.25. Ficha resumen de ensayo en viga BS2 . . . . .	117
3.26. Ficha resumen de ensayo en viga 0AP1 . . . . .	118
3.27. Ficha resumen de ensayo en viga 0AP2 . . . . .	119
3.28. Ficha resumen de ensayo en viga 0BP1 . . . . .	120
3.29. Ficha resumen de ensayo en viga 0BP2 . . . . .	121
3.30. Ficha resumen de ensayo en viga AP1 . . . . .	122
3.31. Ficha resumen de ensayo en viga AP2 . . . . .	123
3.32. Ficha resumen de ensayo en viga BP1 . . . . .	124
3.33. Ficha resumen de ensayo en viga BP2 . . . . .	125
3.34. Ficha resumen de resultados en viga 0AP1 (cb=25mm) (I) . . . . .	142
3.35. Ficha resumen de resultados en viga 0AP1 (cb=25mm) (II) . . . . .	143
3.36. Ficha resumen de resultados en viga 0AP2 (cb=25mm) (I) . . . . .	144
3.37. Ficha resumen de resultados en viga 0AP2 (cb=25mm) (II) . . . . .	145
3.38. Ficha resumen de resultados en viga 0BP1 (cb=25mm) (I) . . . . .	146
3.39. Ficha resumen de resultados en viga 0BP1 (cb=25mm) (II) . . . . .	147
3.40. Ficha resumen de resultados en viga 0BP2 (cb=25mm) (I) . . . . .	148
3.41. Ficha resumen de resultados en viga 0BP2 (cb=25mm) (II) . . . . .	149

3.42. Ficha resumen de resultados en viga AP1 (cb=25mm) (I)	150
3.43. Ficha resumen de resultados en viga AP1 (cb=25mm) (II)	151
3.44. Ficha resumen de resultados en viga AP2 (cb=25mm) (I)	152
3.45. Ficha resumen de resultados en viga AP2 (cb=25mm) (II)	153
3.46. Ficha resumen de resultados en viga BP1 (cb=25mm) (I)	154
3.47. Ficha resumen de resultados en viga BP1 (cb=25mm) (II)	155
3.48. Ficha resumen de resultados en viga BP2 (cb=25mm) (I)	156
3.49. Ficha resumen de resultados en viga BP2 (cb=25mm) (II)	157
3.50. Ficha resumen de resultados en viga 0AP1 (cb=60mm) (I)	158
3.51. Ficha resumen de resultados en viga 0AP1 (cb=60mm) (II)	159
3.52. Ficha resumen de resultados en viga 0AP2 (cb=60mm) (I)	160
3.53. Ficha resumen de resultados en viga 0AP2 (cb=60mm) (II)	161
3.54. Ficha resumen de resultados en viga 0BP1 (cb=60mm) (I)	162
3.55. Ficha resumen de resultados en viga 0BP1 (cb=60mm) (II)	163
3.56. Ficha resumen de resultados en viga 0BP2 (cb=60mm) (I)	164
3.57. Ficha resumen de resultados en viga 0BP2 (cb=60mm) (II)	165
3.58. Ficha resumen de resultados en viga AP1 (cb=60mm) (I)	166
3.59. Ficha resumen de resultados en viga AP1 (cb=60mm) (II)	167
3.60. Ficha resumen de resultados en viga AP2 (cb=60mm) (I)	168
3.61. Ficha resumen de resultados en viga AP2 (cb=60mm) (II)	169
3.62. Ficha resumen de resultados en viga BP1 (cb=60mm) (I)	170
3.63. Ficha resumen de resultados en viga BP1 (cb=60mm) (II)	171
3.64. Ficha resumen de resultados en viga BP2 (cb=60mm) (I)	172
3.65. Ficha resumen de resultados en viga BP2 (cb=60mm) (II)	173
3.66. Ficha resumen de resultados en viga 0AS1 (cb=25mm) (I)	174
3.67. Ficha resumen de resultados en viga 0AS1 (cb=25mm) (II)	175
3.68. Ficha resumen de resultados en viga 0AS2 (cb=25mm) (I)	176
3.69. Ficha resumen de resultados en viga 0AS2 (cb=25mm) (II)	177
3.70. Ficha resumen de resultados en viga 0BS1 (cb=25mm) (I)	178
3.71. Ficha resumen de resultados en viga 0BS1 (cb=25mm) (II)	179
3.72. Ficha resumen de resultados en viga 0BS2 (cb=25mm) (I)	180
3.73. Ficha resumen de resultados en viga 0BS2 (cb=25mm) (II)	181
3.74. Ficha resumen de resultados en viga AS1 (cb=25mm) (I)	182
3.75. Ficha resumen de resultados en viga AS1 (cb=25mm) (II)	183
3.76. Ficha resumen de resultados en viga AS2 (cb=25mm) (I)	184
3.77. Ficha resumen de resultados en viga AS2 (cb=25mm) (II)	185
3.78. Ficha resumen de resultados en viga BS1 (cb=25mm) (I)	186
3.79. Ficha resumen de resultados en viga BS1 (cb=25mm) (II)	187
3.80. Ficha resumen de resultados en viga BS2 (cb=25mm) (I)	188
3.81. Ficha resumen de resultados en viga BS2 (cb=25mm) (II)	189
3.82. Ficha resumen de resultados en viga 0AS1 (cb=60mm) (I)	190
3.83. Ficha resumen de resultados en viga 0AS1 (cb=60mm) (II)	191
3.84. Ficha resumen de resultados en viga 0AS2 (cb=60mm) (I)	192
3.85. Ficha resumen de resultados en viga 0AS2 (cb=60mm) (II)	193
3.86. Ficha resumen de resultados en viga 0BS1 (cb=60mm) (I)	194
3.87. Ficha resumen de resultados en viga 0BS1 (cb=60mm) (II)	195
3.88. Ficha resumen de resultados en viga 0BS2 (cb=60mm) (I)	196
3.89. Ficha resumen de resultados en viga 0BS2 (cb=60mm) (II)	197
3.90. Ficha resumen de resultados en viga AS1 (cb=60mm) (I)	198
3.91. Ficha resumen de resultados en viga AS1 (cb=60mm) (II)	199
3.92. Ficha resumen de resultados en viga AS2 (cb=60mm) (I)	200

3.93. Ficha resumen de resultados en viga AS2 (cb=60mm) (II) . . . . .	201
3.94. Ficha resumen de resultados en viga BS1 (cb=60mm) (I) . . . . .	202
3.95. Ficha resumen de resultados en viga BS1 (cb=60mm) (II) . . . . .	203
3.96. Ficha resumen de resultados en viga BS2 (cb=60mm) (I) . . . . .	204
3.97. Ficha resumen de resultados en viga BS2 (cb=60mm) (II) . . . . .	205
3.98. Tabla resumen de resultados en vigas analizadas . . . . .	206
4.1. Cuantificación de ahorro en acero de vigas . . . . .	229
4.2. Cuantificación económica de la variación en acero y fibras de vigas . . . . .	229

# Referencias

- [1] S. A. Bresler, B., *Shear strength of reinforced concrete beams. I.* J.Am. Concrete Institute, 1963.
- [2] F. J. V. . W. Shim, *Experimental and Analytical Reexamination of Classic Concrete Beam Tests.* JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING © ASCE / 460-469, 2004.
- [3] ACI-ASCE, "The shear strength for reinforced concrete members," *Committee-426*, 1973.
- [4] P. T. Fenwick R C, "Mechanisms of shear resistance of concrete beams.," *No 10, Journal Structural Division ASCE, Vol. 94, págs. 2325-2350.*, 1968.
- [5] W. . Reinhardt., "Experiments on shear transfer in cracks en concrte.," *Stevin Laboratory, Delf University of Technology, Description of Results Part 1 y 2.*, 1979.
- [6] J.-P. J. authorWoo Kim, "Shear resistant mechanism into base components: Beam action and arch action in shear-critical rc members.," *International Journal of Concrete Structures and Materials, Volume 8, Issue 1, pp 1-14*, 2014.
- [7] P. Adebar, "Testing structural concrete beam element.," *RILEM: Mat and Struct, Vol. 27, págs. 445-451.*, 1994.
- [8] F. Leonhardt and R. Walther., "Wardetiger trager, deutscher ausschuss fur stahlbeton.," *Bulletin No 178. Berlin : Wilhelm Ernst und Sohn*, 1966.
- [9] G. N. J. Kani, "How safe are our large reinforced concrete beams.," *Journal ACI, Vol. 64, págs. 128-141.*, 1967.
- [10] H. P. J. L. Taylor, "Investigation of the forces carried across cracks in reinforced concrete beams in shear by interlock of aggregate.," *Cement and Concrete Association*, 1970.
- [11] C. E., "Análisis y formulación del cálculo a cortante.," 2008.
- [12] D. of Civil and E. E. S. Engineering, "Fibre-reinforced concrete for industrial construction. a fracture mechanics approach to material testing and structural analysis," *CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY*, 2005.
- [13] A. C. 544, "Report on fiber reinforced concrete," *ACI*, 2002.
- [14] C. D. Johnston, "Steel fibre reinforced mortar and concrete—a review of mechanical properties.," *American Concrete Institute, Detroit, 1974, pp. 127-142.*, 1974.
- [15] G. R. Williamson, "The effect of steel fibers on the compressive strength of concrete.," *American Concrete Institute, Detroit, 1974, pp. 195-207.*, 1974.
- [16] C. D. Johnston and R. J. Gray, "Uniaxial tension testing of steel fibre reinforced cementitious composites.," *Symposium on Testing and Test Methods of Fibre-Cement Composites, RILEM, Sheffield, Apr. 1978, pp. 451-461.*, 1978.



- [17] B. Barr, "The fracture characteristics of frc materials in shear.," *American Concrete Institute, Detroit, 1987, pp. 27-53.*, 1987.
- [18] G. B. Batson, "Use of steel fibers for shear reinforcement and ductility.," *Steel Fiber Concrete, Elsevier Applied Science Publishers, Ltd., 1986, pp. 377-399.*, 1986.
- [19] R. L. Jindal, "Shear and moment capacities of steel fiber reinforced concrete beams.," *Fiber Reinforced Concrete—International Symposium, SP-81, American Concrete Institute, Detroit, 1984, pp. 1-16.*, 1984.
- [20] G. R. Williamson, "Steel fibers as web reinforcement in reinforced concrete.," *Proceedings US Army Science Conference, West Point, Vol. 3, June 1978, pp. 363-377.*, 1978.
- [21] P. Di-Prisco and Vandewalle., "Overview on the shear provisions for fcr.," *MC2010, Vol. 57, págs. 61-76.*, 2010.
- [22] Narayanan and Darwish., "Use of steel fiber as shear reinforcement.," *ACI Structural Journal, Vol. 84, págs. 216-227.*, 1997.
- [23] P. Tan and Murugappan., "Steel fibers as shear reinforcement in partially prestressed beams.," *No 6, 1995, ACI Structural Journal, Vol. 92, págs. 643-652.*, 1995.
- [24] P.-M. Dinh and Wight., "Shear behavior of steel fiber - reinforced concrete beams without stirrups reinforcement.," *ACI Structural Journal, Vol. 107, págs. 597-606.*, 2010.
- [25] . H. K. A. Jindal, Roop L., "Behavior of steel fiber reinforced concrete beam-column connections.," *Fiber Reinforced Concrete—International Symposium, SP-81, American Concrete Institute, Detroit, 1984, pp. 107-123.*, 1984.
- [26] V. Sood and S. Gupta, "Behavior of steel fibrous concrete beam column connections.," *American Concrete Institute, Detroit, 1987, pp. 437-474.*, 1987.
- [27] R. Jindal and V. Sharma, "Behavior of steel fiber reinforced concrete knee type connections.," *Fiber Reinforced Concrete Properties and Applications, SP-105, American Concrete Institute, Detroit, 1987, pp. 475-491.*, 1987.
- [28] D. J. Hannant, "Fibre cements and fibre concretes.," *John Wiley Sons, Ltd., Chichester, United Kingdom, 1978, p. 53.*, 1978.
- [29] J. P. Romualdi and J. A. Mandel, "Tensile strength of concrete affected by uniformly distributed closely spaced short lengths of wire reinforcement.," *ACI JOURNAL, Proceedings, Vol. 61, No. 6, June 1964, pp. 657-671.*, 1964.
- [30] J. Dixon and B. Mayfield, "Concrete reinforced with fibrous wire.," *Journal of the Concrete Society, Concrete, Vol. 5, No. 3, Mar. 1971, pp. 73-76.*, 1971.
- [31] N. J. Kar and A. K. Pal, "Strength of fiber reinforced concrete.," *Journal of the Structural Division, Proceedings, ASCE, Vol. 98, No. ST-5, May 1972, pp. 1053-1068.*, 1972.
- [32] S. P. Shah and R. V. Rangan, "Fiber reinforced concrete properties.," *ACI JOURNAL, Proceedings, Vol. 68, No. 2, Feb. 1971, pp. 126-135.*, 1971.
- [33] R. H. Works and R. E. Untrauer, "Tensile strength of concrete affected by uniformly distributed and closely spaced short lengths of wire reinforcement.," *ACI JOURNAL, Proceedings, Vol. 61, No. 12, Dec. 1964, pp. 1653-1656.*, 1964.
- [34] M. L. Snyder and D. R. Lankard, "Factors affecting the strength of steel fibrous concrete.," *ACI JOURNAL, Proceedings, Vol. 69, No. 2, Feb. 1972, pp. 96-100.*, 1972.

- [35] B. L. Waterhouse and C. E. Luke, "Steel fiber optimization.," *Conference Proceedings M-28, "Fibrous Concrete—Construction Material for the Seventies," Dec. 1972, pp. 630-681.*, 1972.
- [36] D. R. Lankard, "Flexural strength predictions. fibrous concrete—construction material for the seventies.," *Conference Proceedings M-28 Dec. 1972, pp. 630-681.*, 1972.
- [37] C. D. Johnston, "Effects on flexural performance of sawing plain concrete and of sawing and other methods of altering fiber alignment in fiber reinforced concrete.," *ASTM, CCAGDP, Vol. 11, No. 1, Summer 1989, pp. 23-29.*, 1989.
- [38] R. F. Zollo, "Collated fibrillated polypropylene fibers in frc.," *SP-81, American Concrete Institute, Detroit, 1984, pp. 397-409.*, 1984.
- [39] V. Nagabhushanam, M.; Ramakrishnan and G. Vondran, "Fatigue strength of fibrillated polypropylene fiber reinforced concrete," *Transportation Research Record 1226, National Research Council, Washington D.C., 1989, pp. 36-47.*, 1989.
- [40] S. Ramakrishnan, V.; Gollapudi and R. Zellers, "Performance characteristics and fatigue of polypropylene fiber reinforced concrete," *SP-105, American Concrete Institute, Detroit, 1987, pp. 159-177.*, 1987.
- [41] M. Vondran, G. L.; Nagabhushanam and V. Ramakrishnan, "Fatigue strength of polypropylene fiber reinforced concretes.," *Fiber Reinforced Cements and Concretes: Recent Developments, edited by R. N. Swamy and B. Barr, Elsevier Applied Science, London and New York, 1990, pp. 533-543.*, 1990.
- [42] G. Y. Ramakrishnan, V.; Wu and G. Hosalli, "Flexural behavior and toughness of fiber reinforced concretes.," *Transportation Research Record 1226, National Research Council, Washington D. C., 1989, pp. 69-77.*, 1989.
- [43] S. Guirguis and R. J. Potter, "Polypropylene fibres in concrete.," *Technical Report TR/F90, Cement and Concrete Association of Australia, May 1985, 21 pp.*, 1985.
- [44] W. R. Malisch, "Polypropylene fibers in concrete—what do the tests tell us?," *Concrete Construction, Apr. 1986, pp. 363-368.*, 1986.
- [45] G. Y. Ramakrishnan, V.; Wu and G. Hosalli, "Flexural fatigue strength, endurance limit, and impact strength of fiber reinforced concrete.," *Transportation Research Record 1226, National Research Council, Washington D. C., 1989, pp. 17-24.*, 1989.
- [46] S. F. Jr and J. B. de Hanai, "Shear behaviour of fiber reinforced concrete beams.," *Cement and Concrete Composites, Vol. 19, págs. 359-366.*, 1997.
- [47] R. G. B. B. J Turmo, N Bantia, "Beams, study of the shear behaviour of fibre reinforced concrete.," *Materiales de construcción, Vol. 58, págs. 5-13.*, 2008.
- [48] M. Grzybowski and S. P. Shah, "Shrinkage cracking in fiber reinforced concrete.," *ACI Materials Journal, Vol. 41, No. 148.*, 1989.
- [49] DIANA, *Material Library*. DIANA Finite Element Analysis, 2016.
- [50] J. C. WALRAVEN and H. W. REINHARDT, "Theory and experiments on the mechanical behaviour of cracks in plain and reinforced concrete subjected to shear loading.," *Coastal Engineering Proc, 2, 2412-2422*, 1981.
- [51] F. J. VECCHIO and M. P. COLLINS, *The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear*. ACI Journal 83, 22 (1986), 219-231., 1986.

- [52] L. J. M. and K. G., “Nonlinear fe analysis of cracks in tension and shear.,” *Magazine of Concrete Research* 59(4):233-244, 2007.
- [53] T. A. THORENFELDT, E. and J. J. JENSEN, “Mechanical properties of high-strength concrete and applications in design.,” *In Proc. Symp. Utilization of High-Strength Concrete (Stavanger, Norway), Tapir.*, 1987.
- [54] P. H. FEENSTRA, “Computational aspects of biaxial stress in plain and reinforced concrete.,” *PhD thesis, Delft University of Technology.*, 1993.
- [55] H. D. A. . R. H. W. CORNELISSEN, H. A. W., “Experimental determination of crack softening characteristics of normalweight and lightweight concrete.,” *Heron* 31, 2, 1986.
- [56] D. A. HORDIJK, “Local approach to fatigue of concrete.,” *PhD thesis, Delft University of Technology*, 1991.
- [57] CEB-FIP., “Fip model code for concrete structures 2010.,” *Comite Euro-International du Beton*, 2013.
- [58] R. G. SELBY and F. J. VECCHIO, “Three-dimensional constitutive relations for reinforced concrete.,” *Tech. Rep. 93-02, Univ. Toronto, dept. Civil Eng., Canada.*, 1993.
- [59] F. J. VECCHIO and M. P. COLLINS, “Compression response of cracked reinforced concrete.,” *J. Str. Eng., ASCE* 119, 12 (1993), 3590-3610., 1993.
- [60] M. de Fomento de España, “Real decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (ehe-08).,” *BOE núm. 203*, 2008.
- [61] L. e. a. Vandewalle, “Rilem tc 162-tdf: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete.,” *Materials and Structures, Vol. 36, No. 262, p. 560-567.*, 2003.
- [62] T. E. U. Government, “En 1992-1-1 (2004): Eurocode 2: Design of concrete structures - part 1-1: General rules and rules for buildings,” *Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC*, 2004.
- [63] A. G., “Shear strength of steel fiber reinforced concrete (sfrc) slender beams,” *KSCE Journal of Civil Engineering* 18(2):587-594, 2014.
- [64] L. G., “Estudio experimental sobre los modos de fallo por cortante de vigas esbeltas ( $l/d > 2.4$ ) de hormigón armado y de hormigón armado reforzado con fibras de acero.,” 2016.
- [65] O. F., “Estudio experimental sobre los modos de fallo por cortante de vigas esbeltas ( $l/d > 2.4$ ) de hormigón armado y de hormigón armado reforzado con fibras de polipropileno.,” 2016.
- [66] N. Vasios, “Nonlinear analysis of structures. the arc length method: Formulation, implementation and applications.,” 2015.