

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE MICROFIBRAS DE
POLIPROPILENO EN EL HORMIGÓN, PARA LA DISMINUCIÓN
DE LAS FISURAS CAUSADAS POR LA RETRACCIÓN PLÁSTICA”**

Por:

EUDIN CHOQUE ARAMAYO

SEMESTRE I – 2025

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE MICROFIBRAS DE
POLIPROPILENO EN EL HORMIGÓN, PARA LA DISMINUCIÓN
DE LAS FISURAS CAUSADAS POR LA RETRACCIÓN PLÁSTICA”**

Autor:

EUDIN CHOQUE ARAMAYO

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I – 2025

TARIJA – BOLIVIA

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a Dios por darme la fortaleza, perseverancia y guía por el buen camino para poder afrontar todos los problemas que se presentaron.

Para ti mamita, por tu comprensión, por tu apoyo, por tu humildad, por tú enseñanza de vida, por luchar juntos y sobre todo por seguir a mi lado dándome esa fuerza para seguir adelante.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. Antecedentes.....	2
1.1.1. Planteamiento	3
1.1.3. Formulación	4
1.1.4. Sistematización.....	5
1.2. OBJETIVOS.....	5
1.2.1. General.....	5
1.2.2. Específicos.....	5
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	6
1.3.1. Académica.....	6
1.3.2. Técnica.....	6
1.3.3. Social.....	7
1.4. MARCO REFERENCIAL.....	7
1.4.1. Espacial.....	7
1.4.2. Temporal.....	7
1.5. ALCANCE.....	8
1.5.1. General.....	8
1.5.2. Hipótesis.....	8
1.5.3. Resultados a lograr.....	9
1.6. Normativas a utilizar.....	9

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción.....	12
------------------------	----

2.2. Fisuración.....	13
2.2.1. Clasificación	13
2.3. Fisuración en el hormigón.....	15
2.3.1. Tipos de fisura en el hormigón	16
2.4. Retracción plástica.....	17
2.4.1. Fisuración por retracción plástica.....	18
2.4.2. Características de la retracción plástica.....	19
2.5. Hormigón reforzado con fibras.....	20
2.5.1. Comportamiento mecánico.....	22
2.5.2. Fibras sintéticas.....	25
2.5.2.1. Macrofibras sintéticas.....	25
2.5.2.2. Microfibras sintéticas.....	26
2.5.2.3. Fibras de polipropileno.....	26
2.5.2.4. Tipos de Fibra de Polipropileno	29
2.5.2.5. Dosificación Fibra de Polipropileno	34
2.6. Hormigón.....	35
2.7. Hormigón convencional.....	36
2.7.1. Materiales componentes del hormigón.....	37
2.7.2. Propiedades del hormigón fresco.....	38
2.7.2.1. Trabajabilidad	38
2.7.2.2. Docilidad.....	40
2.7.2.3. Homogeneidad.....	40
2.7.2.4. Peso específico.....	40

2.7.3. Propiedades del hormigón endurecido.....	41
2.7.3.1. Peso específico.....	41
2.7.3.2. Compacidad.....	41
2.7.3.3. Permeabilidad.....	42
2.7.3.4. Resistencia	42
2.7.4. Características mecánicas del hormigón.....	43
2.7.4.1. Resistencia a la compresión.....	43
2.7.4.2. Resistencia a tracción por flexión.....	43
2.7.5. Ensayos estándar en hormigón.....	44
2.7.5.1. Determinación de la Resistencia del hormigón a la Flexión.	44
2.8. Estudio de los agregados.....	46
2.8.1. Clasificación general de los agregados.....	46
2.8.2. Propiedades físicas de los agregados.....	47
2.8.2.1. Forma y textura.....	47
2.8.2.2. Granulometría.....	49
2.8.2.3. Peso específico y Absorción de agua.....	54
2.8.3.4. Peso unitario.....	58
2.8.3. Condiciones que deben cumplir los Áridos.	60
2.8.4. Funciones de los agregados.....	61
2.9. Dosificación del hormigón.....	61
2.10. Curado del hormigón.....	68
2.10.1. Razones para curar el hormigón.....	68
2.11. Normativas a utilizar en el procedimiento experimental.	69

3. CAPÍTULO III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Generalidades	71
3.2. Población y Muestra.....	71
3.3. Levantamiento de información	74
3.2.1. Ubicación de la fuente de los materiales a utilizarse	74
3.2.1.1. Agregado pétreo	74
3.3. Ensayos a los componentes del hormigón para caracterización de los componentes de la mezcla.....	75
3.3.1. Granulometría de la grava.....	75
3.3.2. Peso unitario de la grava.....	77
3.3.2.1. Método de compactado.....	77
3.3.2.2. Método de suelto.....	78
3.3.3. Peso específico y absorción de la grava.....	78
3.3.4. Granulometría de la arena.....	79
3.3.5. Peso unitario de la arena.	81
3.3.5.1. Método de compactado.	81
3.3.5.2. Método de suelto.	82
3.3.6. Peso específico y absorción de la arena.	83
3.3.7. Cemento utilizado.....	84
3.4. Dosificación método ACI - 211.....	85
3.5. Elaboración de probetas de hormigón para la confirmación de la resistencia a compresión.....	88
3.5.1. Trabajabilidad del hormigón	90
3.5.2. Ensayo de resistencia a compresión ASTM C39.....	95

3.6. Elaboración, curado y ruptura de los especímenes de hormigón a tracción.....	93
3.6.1. Ensayo en el hormigón endurecido	95
3.6.1.1. Resistencia a la tracción de vigas de hormigón	95
3.7. Valores de resistencia a tracción obtenidos.....	97
3.7.1. Resumen de las resistencias a tracción obtenidas.....	102
3.8. Ensayo de retracción plástica ASTM C1579.	103
3.9. Análisis estadístico	118
3.13. Análisis de costos.....	144
4. CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1. Análisis de los resultados a tracción obtenidos.	149
4.2. Análisis del ensayo de retracción plástica ASTM C1579.....	149
CONCLUSIONES.....	152
RECOMENDACIONES.....	155
BIBLIOGRAFÍA.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de fisuras según el ancho (e) y el grado de repercusión en la estructura.....	14
Tabla 2.2 Guía para anchos de fisura razonables de hormigón armado bajo cargas de servicio.....	14
Tabla 2.3 Presencia de fisuras en estado fresco.....	15
Tabla 2.4. Tipos de fibras y sus características.....	21
Tabla 2.5. Clasificación del hormigón según su Consistencia.....	39
Tabla 2.6. Clasificación de los agregados según su tamaño.....	47
Tabla 2.7. Clasificación de los agregados según su forma.....	48
Tabla 2.8. Textura superficial de los agregados.....	48
Tabla 2.9. Granulometría del agregado grueso.....	50
Tabla 2.10. Granulometría del agregado fino.....	51
Tabla 2.11 Clasificación de la arena por módulo de finura.....	52
Tabla 2.12. Pesos mínimos según el tamaño de las partículas.....	53
Tabla 2.13 Resistencia de diseño f_{cm}	63
Tabla 2.14. Tamaño máximo del agregado.....	63
Tabla 2.15. Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructura.....	63
Tabla 2.16. Contenido de aire atrapado (sin aire incluido).....	64
Tabla 2.17. Volumen de agua por m^3	65
Tabla 2.18. Relación agua/cemento en función a la resistencia.....	65
Tabla 2.19. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen del hormigón.....	66
Tabla 2.20. Lista de los ensayos aplicados.....	69
Tabla 3.1: Valores estandarizados en función del grado de confiabilidad.....	72
Tabla 3.2: Cantidad de vigas a realizar para análisis de resistencia.....	73
Tabla 3.3: Cantidad paneles de hormigón para los ensayos de retracción plástica.....	73
Tabla 3.4. Granulometría de la grava.....	76
Tabla 3.5. Peso unitario de la grava (compactado).....	77
Tabla 3.6. Peso unitario de la grava.....	78
Tabla 3.7. Peso específico de la grava.....	79
Tabla 3.8. Granulometría de la arena.....	80
Tabla 3.9. Peso unitario de la arena (compactado).....	82

Tabla 3.10. Peso unitario de la grava (suelto).....	83
Tabla 3.11. Peso Específico de la arena.....	84
Tabla 3.12. Asentamiento de microfibra de polipropileno.....	90
Tabla 3.13. Resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón (normas: ASTM C39 - AASHTO T22).....	93
Tabla 3.14. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de vigas.....	97
Tabla 3.15. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de vigas con 0,03% de microfibra.....	98
Tabla 3.16. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de vigas con 0,09% de microfibra.....	99
Tabla 3.17. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de vigas con 0,15% de microfibra.....	100
Tabla 3.18. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de las vigas.....	102
Tabla 3.19. Resultados obtenidos en los ensayos de retracción plástica ASTM C1579 "0,00% vs 0,03%".....	114
Tabla 3.20. Resultados obtenidos en los ensayos de retracción plástica ASTM C1579 "0,00% vs 0,09%".....	115
Tabla 3.21. Resultados obtenidos en los ensayos de retracción plástica ASTM C1579 "0,00% vs 0,15%".....	115
Tabla 3.22. Resultados obtenidos en los ensayos de retracción plástica ASTM C1579 "0,00% vs 0,03%% vs 0,09% vs0,15%".....	116
Tabla 3.23. Valores de referencia la desviación estándar para establecer la calidad del hormigón.....	118
Tabla 3.24 Resistencia a tracción a los 7 días con 0,00% de microfibra de polipropileno.....	120
Tabla 3.25. Resistencia a tracción a los 14 días con 0,00% de microfibra de polipropileno.....	122
Tabla 3.26. Resistencia a tracción a los 28 días con 0,00% de microfibra de polipropileno.....	124
Tabla 3.27. Resistencia a tracción a los 7 días con 0,03% de microfibra de polipropileno.....	126
Tabla 3.28. Resistencia a tracción a los 14 días con 0,03% de microfibra de polipropileno.....	128

Tabla 3.29. Resistencia a tracción a los 28 días con 0,03% de microfibra de polipropileno.....	130
Tabla 3.30 Resistencia a tracción a los 7 días con 0,09% de microfibra de polipropileno.....	131
Tabla 3.31 Resistencia a tracción a los 14 días con 0,09% de microfibra de polipropileno.....	133
Tabla 3.32 Resistencia a tracción a los 28 días con 0,09% de microfibra de polipropileno.....	135
Tabla 3.33 Resistencia a tracción a los 7 días con 0,15% de microfibra de polipropileno.....	137
Tabla 3.34 Resistencia a tracción a los 14 días con 0,15% de microfibra de polipropileno.....	139
Tabla 3.35 Resistencia a tracción a los 28 días con 0,15% de microfibra de polipropileno.....	141
Tabla 4.1. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de las vigas.....	150
Tabla 4.2. Tiempo de inicio de fisuración.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Tipos de fisura del hormigón.....	16
Figura 2.2. Fisuración del hormigón provocada por la retracción por secado.....	18
Figura 2.3. Efecto de las fibras sobre las fisuras.....	21
Figura 2.4. Clasificación de las fibras para hormigón.....	22
Figura 2.5. Efecto de las fibras sobre el comportamiento del hormigón.....	23
Figura 2.6. Posibles geometrías para fibras metálica “se señalan las geometrías utilizadas en este estudio. ”.....	23
Figura 2.7. Influencia de la geometría de las fibras.....	24
Figura 2.8. Influencia de la resistencia a tracción de las fibras sobre la energía absorbida.....	24
Figura 2.9. Aspecto de macrofibras sintéticas comerciales.....	25
Figura 2.10. Aspecto de microfibras sintéticas comerciales.....	26
Figura 2.11. Fibras en el hormigón cosiendo las fisuras	27
Figura 2.12. Propiedades físicas de la fibra de polipropileno	28
Figura 2.13. Distintas fibras de polipropileno.....	30
Figura 2.14. Fibra de polipropileno multifilamento.....	33
Figura 2.15. Vía de escape de los ases dentro de la matriz	34
Figura 2.16. Aparato para la prueba de resistencia a la flexión con carga en los tercios del claro.....	44
Figura 2.17. Zonas granulométrica IRAM – CIRSOC.....	49
Figura 2.18. Representación diagramática de la humedad en el agregado.....	54
Figura 3. 1. Ubicación, banco de agregados Garzón.....	74
Figura 3.2. Banco de agregado pétreo.....	75
Figura 3.3. Juego de tamices.....	75
Figura 3.4. Curva granulométrica del agregado grueso	76
Figura 3.5. Ensayo de peso unitario compactado.....	77
Figura 3.6. Ensayo de peso unitario suelto.....	78
Figura 3.7. Equipo para peso específico grava.....	79
Figura 3.8. Granulometría agregado fino.....	80
Figura 3.9. Curva granulométrica del agregado fino.....	81
Figura 3.10. Peso unitario de la arena compactada.....	82

Figura 3.11. Ensayo de peso unitario suelto.....	83
Figura 3.12. Matraz graduado para peso específico aparente de la arena.....	84
Figura 3.13. Elaboración de probetas cilíndricas.....	88
Figura 3.14. Probetas cilíndricas terminadas.....	89
Figura 3.15. Ensayo de asentamiento a las mezclas realizadas.....	91
Figura 3.16. Ensayo de resistencia a compresión.....	92
Figura3.17. Hormigoneras listas para empezar el mezclado.....	93
Figura 3.18. Vaciado de las vigas y curado.....	94
Figura 3.19. Equipo utilizado.....	95
Figura 3.20. Prensa hidráulica.....	96
Figura 3.21. Rotura de las vigas.....	96
figura 3.22. Vigas después del ensayo de atracción.....	97
Figura 3.23. Diagramas de barras de los valores de resistencia a tracción de vigas obtenidos.....	98
Figura 3.24. Diagrama de barras de los valores de resistencia a tracción de vigas obtenidos.....	99
Figura 3.25. Diagramas de barras de los valores de resistencia a tracción de vigas obtenidos.....	100
Figura 3.26. Diagramas de barras de los valores de resistencia a tracción de vigas obtenidos.....	101
Figura 3.27. Comparación de resistencias a tracción de vigas a los 7,14 y 28 días.....	102
Figura 3.28. Dimensiones de los moldes y restricciones geométricas.....	105
Figura 3.29. Moldes para la realización del ensayo.....	105
Figura 3.30. Aparatos para generar condiciones medioambientales.....	106
Figura 3.31. Cámara ambientada.....	107
Figura 3.32. Fuente para determinar la tasa de evaporación.....	108
Figura 3.33. Juego de galgas metálicas.....	109
Figura 3.34. Higrómetro que registra la humedad y la temperatura ambiente....	109
Figura 3.35. Anemómetro que registra la velocidad del viento y la temperatura del ambiente.....	110
Figura 3.36. Moldes antes del ensayo.....	110

Figura 3.37. Paneles de hormigón en la cámara ambientada.....	111
Figura 3.38. Paneles de hormigón con las fuentes de monitoreo.....	112
Figura 3.39. Manera de cuantificar las fisuras.....	113
Figura 3.40. Anchos de fisura en función a intervalos de 10 mm a diseño de panel sin microfibra y panel con microfibra al 0.03%.....	114
Figura 3.41. Anchos de fisura en función a intervalos de 10 mm a diseño de panel sin microfibra y panel con microfibra al 0.09%.....	115
Figura 3.42. Anchos de fisura en función a intervalos de 10 mm a diseño de panel sin microfibra y panel con microfibra al 0.15%.....	116
Figura 3.43. Comparación de los anchos de fisura sin microfibra y con microfibra.....	117
Figura 3.44. Promedio general de los anchos de fisuras.....	117
Figura 3.45. Comparación de la relación de reducción de fisuras (CRR).....	118
Figura 3.46. Distribución t de Student.....	120
Figura 3.47. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 7 días con 0,00% de microfibra de polipropileno.....	121
Figura 3.48. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 14 días con 0,00% de microfibra de polipropileno.....	123
Figura 3.49. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 28 días con 0,00% de microfibra de polipropileno.....	125
Figura 3.50. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 7 días con 0,03% de microfibra de polipropileno.....	127
Figura 3.51. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 14 días con 0,03% de microfibra de polipropileno.....	129
Figura 3.52. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 28 días con 0,03% de microfibra de polipropileno.....	131
Figura 3.53. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 7 días con 0,09% de microfibra de polipropileno.....	133
Figura 3.54. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 14 días con 0,09% de microfibra de polipropileno.....	135
Figura 3.55. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 28 días con 0,09% de microfibra de polipropileno.....	137

Figura 3.56. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 7 días con 0,15% de microfibra de polipropileno.....	139
Figura 3.57. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 14 días con 0,15% de microfibra de polipropileno.....	141
Figura 3.58. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 28 días con 0,15% de microfibra de polipropileno.....	143
Figura 3.59. Comparación de costos	147
Figura 4.1. Comparación de resistencias a tracción de vigas a los 28 días.....	151
Figura 4.2. Comparación de anchos de fisuras.....	152

ANEXOS

- A-1 FOTOGRAFÍA DE LA ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS, VIGAS.
- A-2 FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO DE LAS PROBETAS, VIGAS.
- A-3 CRONOGRAMA DEL PROCESO DE CURADO CONVENCIONAL.
- A-4 FOTOGRAFÍA DE LA FABRICACIÓN DE LA CÁMARA AMBIENTAL Y SUS PARTES.
- A-5 CRONOGRAMA DEL PROCESO DEL ENSAYO DE RETRACCIÓN PLÁSTICA ASTM C1579.
- A-6 FOTOGRAFÍA DE LA DISTRIBUCION DE LOS MOLDES DENTRO DE LA CÁMARA AMBIENTAL.
- A-7 FOTOGRAFÍA DEL PROCEDIMIENTO DEL DEL ENSAYO DE RETRACCIÓN PLÁSTICA ASTM C1579.
- A-8 RESULTADOS DE LOS MONITOREOS, DE TEMPERATURA HUMEDAD Y EVAPORACIÓN Y ANCHO DE FISURAS.
- A-9 RESULTADOS DEL ENSAYO DE RETRACCIÓN PLÁSTICA ASTM C1579.
- A-10 HOJA TÉCNICA DE LA MICROFIBRA DE POLIPROPILENO.
- A-11 ESPECIFICACIONES DEL ANEMÓMETRO E HIGRÓMETRO.
- A-12 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.
- A-13 PLANILLAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO.