

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN
DEL HORMIGÓN H 25 ADICIONANDO FIBRAS TEXTIL
ACERO RECICLADAS DE NEUMÁTICOS.”

Por:

JHOSMIRA ANGELA MAMANI RUEDA

Trabajo 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 II -2025

Tarija -Bolivia

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con todo mi amor y gratitud a mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida, por acompañarme con amor y paciencia en cada etapa de mi existencia.

A ellos, mi respeto y admiración eternos, por todos los sacrificios que han hecho día tras día para verme cumplir esta meta.

A Moisés, mi pareja, por ser apoyo incondicional, por acompañarme incluso hasta los momentos más difíciles, y por recordarme siempre por qué vale la pena seguir.

Dedico también este logro a toda mi familia, que con su cariño y ejemplo me impulsó a seguir adelante; y a todas las personas que, de una u otra forma, me brindaron su apoyo, su confianza y su aliento.

Este triunfo no es solo mío: también es de ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Problema.....	1
1.1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.1.2 Formulación del problema	2
1.1.1.3 Sistematización del problema.....	2
1.1.2 Objetivos	3
1.1.2.1 Objetivo general	3
1.1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.1.3 Justificación.....	4
1.1.3.1 Justificación académica	4
1.1.3.2 Justificación técnica	4
1.1.3.3 Justificación social	4
1.1.4 Alcance del estudio	5
1.1.4.1 Tipo de estudio.....	5
1.1.4.2 Variables.....	5
1.1.4.3 Hipótesis.....	7
1.1.4.4 Restricciones	7
CAPÍTULO II	9
2.1 Marco teórico	9
2.1.1 Hormigón reforzado con fibras	9
2.1.1.1 Definiciones	9
2.1.1.2 Uso de la Fibra en la Construcción	9
2.1.1.3 Tipos de fibras	10
2.1.2 Hormigón reforzado con fibras de acero y fibras textiles	13
2.1.2.1 Componentes del hormigón reforzado con fibras	13
2.1.2.1.1 Cemento	13

2.1.2.1.2	Agregados.....	16
2.1.2.1.3	Agua	18
2.1.3	Características y Propiedades de los Agregados.	25
2.1.3.1	Análisis Granulométrico y Modulo de Finura de los Agregados (ASTM C-136).....	25
2.1.3.2	Determinación de la Densidad Aparente ("peso unitario") e Índice de Huecos en los Agregados para Hormigón (ASTM C-29)	27
2.1.3.3	Método para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM C-127).....	28
2.1.3.4	Método para Determinar el Peso Específico y Absorción del Agregado Fino (ASTM C-128)	29
2.1.3.5	Contenido de Humedad en Agregados (ASTM C-566).....	29
2.1.4	Dosificación del Hormigón	31
2.1.4.1	Procedimiento de diseño de mezcla de hormigón (ACI 211.1)	31
2.1.5	Características mecánicas del hormigón reforzado con fibras de acero y fibras textiles	38
2.1.5.1	Resistencia a tracción indirecta (ASTM C496).....	38
2.1.5.2	Resistencia a flexión (ASTM C78)	40
2.1.6	Guía para evaluación de resultados de la prueba de resistencia del concreto (ACI 214R-11).....	43
2.1.6.1	Indicadores Estadísticos	43
2.1.6.2	Control De Calidad.....	44
2.1.6.3	Pruebas estadísticas	46
CAPÍTULO III.....		50
3.1	Marco metodológico	50
3.1.1	Tipo de Investigación	50
3.1.2	Población y Muestra.....	50
3.1.3	Diseño de mezcla	52
3.1.4	metodología utilizada (fases)	52
3.1.4.1	Fase I: Recolección de materiales	52

3.1.4.2	Fase II: Caracterización de los agregados	53
3.1.4.3	Fase III: Caracterización de la fibra reciclada.....	66
3.1.4.4	Fase IV: Elaboración de las probetas.	73
3.1.4.5	Fase V: Ensayos mecánicos y análisis estadístico	79
3.2	Análisis y resultados.....	79
3.2.1	Resultados del Ensayo de flexión en probetas de hormigón con diferentes porcentajes de fibras.	80
3.2.2	Comparación de la resistencia a la flexión del hormigón patrón y hormigón a distintos porcentajes de fibras a los 7, 14 y 28 días	90
3.2.3	Validación de datos de resistencia a flexión	95
3.2.4	Resultados del Ensayo de tracción indirecta (ensayo brasilero) en Probetas de Hormigón con Diferentes Porcentajes de Fibras.	105
3.2.5	Comparación de la resistencia a la tracción indirecta del hormigón patrón y hormigón a distintos porcentajes de fibras a los 7, 14 y 28 días	116
3.2.6	Resultados del Ensayo de compresión en probetas de hormigón para verificar un H-25	120
3.3	Contraste de hipótesis:	122
CAPÍTULO IV		134
4.1	Conclusiones y recomendaciones	134
4.1.1	Conclusiones	134
4.1.1.1	Conclusión técnica	134
4.1.1.2	Conclusión económica	138
4.1.1.3	Conclusiones costo-beneficio.....	138
4.1.1.4	Conclusiones prácticas	139
4.1.2	Recomendaciones.....	143
4.1.2.1	Recomendaciones técnicas	143
4.1.2.2	Recomendaciones económicas	144
4.1.2.3	Recomendaciones prácticas.....	145
BIBLIOGRAFÍA.....		147

ANEXOS.....	151
ANEXO 1: PRACTICAS REALIZADAS.....	152
ANEXO 2: MATRIZ	153
ANEXO 3: PRECIOS UNITARIOS.....	155
ANEXO 4: FOTOGRAFIAS.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Generación diaria de residuos y reciclaje en países de América Latina	1
Figura 2	Uso anual de llantas en Bolivia	2
Figura 3	Ejemplo de fibras de diferentes formas.	11
Figura 4	Composición típica de un neumático	19
Figura 5	Proceso de reciclaje de neumáticos	21
Figura 6	Sostenimiento primario de túneles con hormigón convencional (HC) y con hormigón reforzado con fibras (HRF).....	23
Figura 7	Aplicación de hormigón reforzado con fibras en túneles	24
Figura 8	Depósito para almacenamiento de grandes bobinas de acero.....	25
Figura 9	Ensayo Cono de Abrams	32
Figura 10	(a) Configuración de la carga y (b) rotura del ensayo de tracción indirecta	39
Figura 11	Esquema de ensayo de tracción por flexión con carga P/2 aplicada en los límites del tercio central de la luz.....	40
Figura12	Esquema de ensayo de tracción por flexión con carga P aplicada en el centro de la luz	42
Figura 13	Planta chancadora de áridos Tolomosa	52
Figura 14	Empresa recicladora TERRACYCLE	53
Figura 15	Curva granulométrica del agregado grueso	55
Figura16	Curva granulométrica del agregado fino	57
Figura 17	Evolución de la resistencia a la flexión del hormigón patrón en el tiempo	81
Figura18	Evolución de la resistencia a la flexión del hormigón con adición de 0.5% de fibra en el tiempo	83
Figura19	Evolución de la resistencia a la flexión del hormigón con adición de 1% de fibra en el tiempo.....	85
Figura20	Evolución de la resistencia a la flexión del hormigón con adición de 1.5% de fibra en el tiempo	87

Figura21 Evolución de la resistencia a la flexión del hormigón con adición de 2% de fibra en el tiempo	89
Figura22 Influencia del contenido de fibras en la resistencia a la flexión del hormigón a los 7 Días	90
Figura23 Comparación de resistencia a la flexión a los 7 días con distintos porcentajes de fibra.....	90
Figura 24 Influencia del contenido de fibras en la resistencia a la flexión del hormigón a los 14 Días	91
Figura 25 Comparación de resistencia a la flexión a los 14 días con distintos porcentajes de fibra	91
Figura 26 Influencia del contenido de fibras en la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días	92
Figura 27 Comparación de resistencia a la flexión a los 14 días con distintos porcentajes de fibra	92
Figura 28 Comparación de las resistencias a compresión del hormigón con distintos porcentajes de vidrio.	93
Figura 29 Resumen final de resistencia a la flexión a 7, 14 y 28 días	93
Figura 30 Campana de Gauss del hormigón patrón.	96
Figura 31 Campana de Gauss del hormigón con adición del 0.5% de fibra	98
Figura 32 Campana de Gauss del hormigón con adición del 1% de fibra	100
Figura 33 Campana de Gauss del hormigón con adición del 1.5% de fibra	102
Figura 34 Campana de Gauss del hormigón con adición del 2% de fibra	104
Figura 35 Evolución de la resistencia a tracción indirecta del hormigón patrón en el tiempo.....	107
Figura 36 Evolución de la resistencia a tracción indirecta del hormigón con 0.5% de fibra acero-textil en el tiempo	109
Figura 37 Evolución de la resistencia a tracción indirecta del hormigón con 1% de fibra acero-textil en el tiempo	111
Figura 38 Evolución de la resistencia a tracción indirecta del hormigón con 1,5% de fibra acero-textil en el tiempo	113

Figura 39 Evolución de la resistencia a tracción indirecta del hormigón con 2% de fibra acero-textil en el tiempo	115
Figura 40 Influencia del contenido de fibras en la resistencia a la tracción indirecta del hormigón a los 7 Días.....	116
Figura 41 Comparación de resistencia a la tracción indirecta a los 7 días con distintos porcentajes de fibra	116
Figura 42 Influencia del contenido de fibras en la resistencia a la tracción indirecta del hormigón a los 14 días.....	117
Figura 43 Comparación de resistencia a la tracción indirecta a los 14 días con distintos porcentajes de fibra	117
Figura 44 Influencia del contenido de fibras en la resistencia a la tracción indirecta del hormigón a los 28 días.....	118
Figura 45 Comparación de resistencia a la tracción indirecta a los 28 días con distintos porcentajes de fibra	118
Figura 46 Comparación de las resistencias a tracción indirecta del hormigón con distintos porcentajes de acero-textil.....	119
Figura 47 Evolución de la resistencia a compresión del hormigón patrón en el tiempo	121
Figura 48 Asentamiento del H° Patrón y H° con distintos porcentajes de fibra acero-textil.....	136
Figura 49 Pesaje de fibra acero-textil.....	162
Figura 50 Separación de la combinación de fibras acero - textil	162
Figura 51 Fibra textil reciclado de neumático.....	163
Figura 52 Fibra de acero reciclado de neumáticos.....	163
Figura 53 Pesaje de fibra textil y acero en balanza de precisión	164
Figura 54 Colocación de fibra de acero y textil en probeta	164
Figura 55 Medición de volumen desplazado por medio del Principio de Arquímedes	165
Figura 56 Determinación del diámetro de fibras utilizando un micrómetro	165

Figura 57 Medición del diámetro de fibras de refuerzo con micrómetro de precisión	166
Figura 58 Juego de micrómetros de interiores para medición precisa de elementos cilíndricos	166
Figura 59 Vista de planta Chancadora Tolomosa	167
Figura 60 Grava $\frac{3}{4}$ triturada proveniente de la Chancadora Tolomosa	167
Figura 61 Preparación de arena: proceso de lavado y secado para uso en hormigón	168
Figura 62 Pesaje de agregado grueso para ensayo correspondiente	168
Figura 63 Pesaje de agregado fino para ensayos correspondientes.....	169
Figura 64 Juego de tamices estandarizados	169
Figura 65 Colocado de agregado en el juego de tamices	170
Figura 66 Montaje del juego de tamices en el tamizador para el análisis granulométrico	170
Figura 67 Tamizado manual de las fracciones de muestra retenidas en los tamices tras el uso del tamizador vibratorio.	171
Figura 68 Agregado grueso después de ser saturado 24 horas.....	171
Figura 69 Determinación del peso específico del agregado grueso: secado superficial	172
Figura 70 Agregado colocado en el canastillo y posteriormente sumergido	172
Figura 71 Determinación del peso específico del agregado grueso: obtención del peso	173
Figura 72 Muestra de arena previamente saturado 24 hrs. para luego realizar peso específico del agregado fino.....	173
Figura 73 Secado de muestra de forma uniforme.	174
Figura 74 Prueba del cono cónico	174
Figura 75 Peso específico de agregado fino.....	175
Figura 76 Peso específico de agregado fino.....	175
Figura 77 Peso unitario: Calibración.....	176
Figura 78 Peso unitario de agregado grueso	176

Figura 79 Peso unitario agregado fino	177
Figura 80 Dosificación de probetas.....	177
Figura 81 Incorporación manual de fibras en hormigón fresco.	178
Figura 82 Prueba de asentamiento	178
Figura 83 Prueba de asentamiento	179
Figura 84 Prueba de asentamiento	179
Figura 85 Compactación de muestras de hormigón fresco en moldes cilíndricos mediante varillado manual	180
Figura 86 Proceso de consolidación de muestras de hormigón: golpeteo de los moldes después del varillado.	180
Figura 87 Nivelación y acabado superficial de las probetas de hormigón en moldes cilíndricos	181
Figura 88 Probetas cilíndricas con mezcla de hormigón	181
Figura 89 Desmolde de probetas pasado las 24 horas de su hormigonado	182
Figura 90 Curado de probetas cilíndricas.....	182
Figura 91 Probetas sacadas de la piscina 24 horas antes de su rotura.....	183
Figura 92 Verificación de la Dosificación de Hormigón H-25 mediante Ensayo de Compresión	183
Figura 93 Resistencia Tracción Indirecta.....	184
Figura 94 Comparación de fisuras entre el hormigón patrón y un hormigón reforzado con fibras (0,5%)	184
Figura 95 Comparación de fisuras entre el hormigón patrón y un hormigón reforzado con fibras (1%)	185
Figura 96 Comparación de fisuras entre el hormigón patrón y un hormigón reforzado con fibras (1.5%)	185
Figura 97 Comparación de fisuras entre el hormigón patrón y un hormigón reforzado con fibras (2%)	186
Figura 98 Probetas después de la rotura a tracción indirecta con 0% ,0,5%,1%,1,5% y 2% de fibra de acero-textil	186
Figura 99 Dosificación de vigas prismáticas: Preparación de moldes	187

Figura 100 Dosificación de vigas prismática: Colocación de hormigón con fibras de moldes	187
Figura 101 Dosificación de vigas prismática: Vibrado y frotachado.....	188
Figura 102 Armado de piscina adicional para vigas	188
Figura 103 Desmolde de vigas prismáticas e identificación	189
Figura 104 Curado de vigas prismáticas: Para el curado de las vigas prismáticas, se emplearon dos piscinas.....	189
Figura 105 Montaje de probeta prismática para ensayo de flexión	190
Figura 106 Probeta de hormigón después de ensayo de flexión	191
Figura 107 Falla por flexión en el tercio central de la viga prismática de hormigón con fibra.....	191
Figura 108 Falla de viga en el tercio central	192
Figura 109 Vigas después de la rotura de vigas patrón 0% de fibra a los 7 días	192
Figura 110 Vigas después de la rotura de vigas con 0,5% de fibra a los 7 días.....	193
Figura 111 Vigas después de la rotura de vigas con 1% de fibra a los 7 días.....	193
Figura 112 Vigas después de la rotura de vigas con 1,5% de fibra a los 7 días.....	194
Figura 113 Vigas después de la rotura de vigas con 2% de fibra a los 7 días.....	194
Figura 114 Vigas después de la rotura de vigas patrón con 0 % de fibra a los 14 días	195
Figura 115 Vigas después de la rotura de vigas patrón con 0,5 % de fibra a los 14 días	195
Figura 116 Vigas después de la rotura de vigas con 1% de fibra a los 14	196
Figura 117 Vigas después de la rotura de vigas con 2% de fibra a los 14 días.....	196
Figura 118 Vigas después de la rotura de vigas patrón con 0% de fibra a los 28 días	197
Figura 119 Vigas después de la rotura de vigas con 1,5% de fibra a los 28 días....	197
Figura 120 Vigas después de la rotura de vigas con 2% de fibra a los 28 días.....	198
Figura 121 Probetas prismáticas de hormigón con fibras de acero y textiles reciclados tras los ensayos de rotura por flexión	198

NDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2	Tipos de fibras y principales propiedades físicas y mecánicas	13
Tabla 3	Clasificación y composición de los cementos.....	15
Tabla 4	Requerimiento de tamizado en agregados finos.....	17
Tabla 5	Requerimiento de tamizado en agregados gruesos.	18
Tabla 6	Peso mínimo de la muestra de prueba.....	28
Tabla 7	Muestra representativa de agregados	30
Tabla 8	Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.	32
Tabla 9	Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.	33
Tabla 10	Requerimiento aproximado de agua de mezcla.....	34
Tabla 11	Relación agua/cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del hormigón.	35
Tabla 12	Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón.....	36
Tabla 13	Primera estimación del peso del hormigón fresco.	37
Tabla 14	Estándares de control de concreto para $f'c \leq$ de 35 Mpa (5000 psi).	45
Tabla 15	Ensayo a compresión del hormigón H-25.....	51
Tabla 16	Ensayo a flexión del hormigón H-25 y sus variantes con fibras	51
Tabla 17	Ensayo de Tracción Indirecta del hormigón H-25 y sus variantes con fibras	51
Tabla 18	Ensayos y normativas para caracterización de agregados.....	53
Tabla 19	Granulometría agregado grueso	55
Tabla 20	Granulometría agregado fino	57
Tabla 21	Peso Unitario Suelto de la grava	59
Tabla 22	Peso Unitario Compactado del agregado grueso.....	61
Tabla 23	Peso Unitario Suelto agregado fino.....	62
Tabla 24	Peso Unitario Compactado agregado fino.....	63
Tabla 25	Peso específico y absorción del agregado grueso.	65

Tabla 26	Peso específico y absorción del agregado fino.....	66
Tabla 27	Composición en peso de fibras recicladas separadas manualmente	67
Tabla 28	Comparación entre la densidad experimental y teórica del acero	68
Tabla 29	Medición del diámetro de fibras de acero recicladas con micrómetro	69
Tabla 30	Distribución de longitudes de fibras de acero recicladas (en cm).....	70
Tabla 31	Resultados del ensayo de densidad de las fibras textiles	71
Tabla 32	Comparación entre la densidad experimental y teórica de la fibra textil ...	71
Tabla 33	Propiedades mecánicas de las fibras utilizadas en el estudio.....	73
Tabla 34	Cantidad de material para 1 m ³ de hormigón patrón, para el diseño de mezcla.....	76
Tabla 35	Proporciones de mezcla.....	76
Tabla 36	Resultados del ensayo de flexión en probetas de hormigón con adición de 0.5% de fibra a 7, 14 y 28 días.....	80
Tabla 37	Resultados del ensayo de flexión en probetas de hormigón con adición de 0.5% de fibra a 7, 14 y 28 días.....	82
Tabla 38	Resultados del ensayo de flexión en probetas de hormigón con adición de 1% de fibra a 7, 14 y 28 días.....	84
Tabla 39	Resultados del ensayo de flexión en probetas de hormigón con adición de 1.5% de fibra a 7, 14 y 28 días.....	86
Tabla 40	Resultados del ensayo de flexión en probetas de hormigón con adición de 2% de fibra a 7, 14 y 28 días.....	88
Tabla 41	Distribución normal del hormigón patrón.	95
Tabla 42	Resultados estadísticos de la resistencia del hormigón patrón	96
Tabla 43	Distribución normal del hormigón con adición del 0.5% de fibra.	97
Tabla 44	Resultados estadísticos de la resistencia del hormigón con adición de 0.5% de fibra.....	98
Tabla 45	Distribución normal del hormigón con adición del 1% de fibra.	99
Tabla 46	Resultados estadísticos de la resistencia del hormigón con adición de 1% de fibra	100
Tabla 47	Distribución normal del hormigón con adición del 1.5% de fibra	101

Tabla 48	Resultados estadísticos de la resistencia del hormigón con adición de 1.5% de fibra.....	102
Tabla 49	Distribución normal del hormigón con adición del 2% de fibra.	103
Tabla 50	Resultados estadísticos de la resistencia del hormigón con adición de 2% de fibra	104
Tabla 51	Resistencia de esfuerzo a tracción indirecta de hormigón patrón en 7, 14, 28 días.	106
Tabla 52	Resistencia de esfuerzo a tracción indirecta de hormigón con 0,5% de fibra acero-textil en 7, 14, 28 días.	108
Tabla 53	Resistencia de esfuerzo a tracción indirecta de hormigón con 1% de fibra acero-textil en 7, 14, 28 días.	110
Tabla 54	Resistencia de esfuerzo a tracción indirecta de hormigón con 1.5% de fibra acero-textil en 7, 14, 28 días.	112
Tabla 55	Resistencia de esfuerzo a tracción indirecta de hormigón con 2% de fibra acero-textil en 7, 14, 28 días.	114
Tabla 56	Resistencia de esfuerzo a compresión de hormigón patrón 7, 14, 28 días.	120
Tabla 57	Cumplimiento de la Hipótesis por Dosificación	122
Tabla 58	Resultados de resistencia a flexión del hormigón con adición de fibras recicladas de neumáticas	134
Tabla 59	Ensayo de trabajabilidad (Asentamiento del Cono de Abrams)	135
Tabla 60	Veredicto de Viabilidad Técnica del Hormigón Reforzado con Fibras ...	137
Tabla 61	Análisis de costos por dosificación	138
Tabla 62	Índice de eficiencia técnica-económica.....	139
Tabla 63	Viabilidad práctica de un hormigón con fibras	139
Tabla 64	Secuencia estándar de mezclado para hormigón con fibras con porcentajes mayores a 1.5%	145