

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES



**“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE UN HORMIGÓN
REFORZADO CON CLAVOS DE ACERO RECICLADOS”**

Por:

TINTAYA GUZMÁN JOSÉ EDUARDO

Semestre I - 2024

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedicado a Eduardo, mi padre, que ha sabido formarme con buenos hábitos y valores, lo cual me ha motivado y ayudado a seguir adelante en los momentos difíciles. Y me ha mostrado totalmente su apoyo.

A Damiana, mi madre, que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos, y sé que estará orgullosa de mí.

A Julio y Wilver, mis hermanos, por haberme brindado aliento y comprensión a lo largo de mi etapa universitaria.

Ética de autoría
Dedicatoria
Agradecimientos
Pensamiento
Resumen

ÍNDICE GENERAL

1	CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Planteamiento del problema.....	1
1.1.1	Formulación del problema.....	1
1.1.2	Sistematización del problema.....	1
1.2	Objetivos.....	1
1.2.1	General.....	1
1.2.2	Específicos.....	1
1.3	Justificación.....	2
1.3.1	Justificación teórica.....	2
1.3.2	Justificación metodológica.....	3
1.3.3	Justificación social.....	3
1.4	Alcance.....	3
1.5	Hipótesis.....	3
1.6	Variables.....	4
1.6.1	Variable dependiente.....	4
1.6.2	Variable independiente.....	4
2	CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO.....	5
2.1	Investigaciones precedentes.....	5
2.2	El Hormigón.....	9
2.2.1	Cementos Portland.....	10

2.3	Agregado grueso.....	14
2.4	Agregado fino.....	16
2.4.1	Características de un buen agregado fino	16
2.5	Agua	17
2.6	Propiedades del hormigón fresco	17
2.6.1	Homogeneidad	17
2.6.2	Trabajabilidad o docilidad	18
2.6.3	Consistencia	19
2.7	Propiedades del hormigón endurecido	20
2.7.1	Peso específico.....	20
2.7.2	Ductilidad.....	20
2.7.3	Permeabilidad.....	21
2.7.4	Resistencia	21
2.8	Equivalencias entre distintas edades del hormigón.....	21
2.9	Dosificación de mezclas de hormigón.....	22
2.9.1	Métodos de dosificación utilizados en Bolivia	22
2.9.2	Método ACI 211.1 de la American Concrete Institute	22
2.10	Hormigón reforzado con fibras	24
2.10.1	Componentes y factores del hormigón reforzado con fibras de acero.....	24
2.11	Propiedades mecánicas del hormigón reforzado con fibras de acero.....	26
2.11.1	Flexión	26
2.11.2	Tracción	29
2.11.3	Compresión	31
2.11.4	Otras propiedades mecánicas.....	32
2.12	Fibras de acero.....	34

2.12.1	Clasificación de las fibras de acero.....	34
2.12.2	Características geométricas de las fibras de acero	34
2.12.3	Propiedades mecánicas de las fibras de acero.....	36
2.12.4	Características químicas de las fibras de acero.....	37
2.13	Adición de fibras de acero en el hormigón.....	37
2.14	Adherencia fibra - matriz	38
2.15	Aplicaciones de las fibras de acero	38
2.16	Los clavos de acero	40
2.16.1	Propiedades mecánicas de los clavos de acero	41
2.16.2	Propiedades químicas de los clavos de acero.....	41
2.17	Forma de los clavos de acero en el hormigón de investigaciones precedentes	41
2.17.1	Técnicas y productos para quitar el óxido de cualquier tipo de superficie	42
2.18	Ensayo a flexión.....	44
2.18.1	Ensayos existentes para medir esfuerzo a la flexión del hormigón	45
3	CAPÍTULO III DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.1	Selección de resistencia de diseño.....	53
3.2	Determinación del número de probetas.....	53
3.3	Población.....	54
3.3.1	Tamaño de la muestra	54
3.3.2	Selección del tamaño máximo nominal.	57
3.4	Procedencia de agregados	57
3.5	Cuarteo y reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo	58
3.6	Estudio de las propiedades de los agregados.....	59
3.6.1	Análisis granulométrico	59
3.6.2	Peso específico y absorción de los agregados.....	62

3.6.3	Peso unitario de los agregados	64
3.6.4	Peso específico del cemento	65
3.6.5	Finura del cemento.....	65
3.7	Uso de los clavos de acero	65
3.7.1	Forma y tamaño de clavos reciclados a utilizar	66
3.8	Comparación de las características de las fibras de acero vs los clavos de acero ..	67
3.9	Tratamiento del óxido de los clavos reciclados.....	68
3.10	Preparación del hormigón	69
3.11	Probetas para el ensayo a compresión.....	73
3.12	Vigas para el ensayo de flexión con adición de clavos de acero reciclado	75
3.13	Ensayo de resistencia a flexión del hormigón ASTM C 78 - 02.....	75
3.13.1	Muestra patrón	77
3.14	Análisis de costos	78
4	CAPÍTULO IV MARCO PRÁCTICO.....	80
4.1	Presentación de resultados de los ensayos	80
4.1.1	Dosificación	80
4.2	Análisis de vigas de hormigón prismáticas ensayadas a flexión.....	82
4.2.1	Resistencia a la flexión del hormigón reforzado con clavos en función del tiempo 83	
4.2.2	Análisis gráfico de la resistencia a la flexión de hormigón convencional y hormigón con adición de clavos.	86
4.3	Consistencia del hormigón patrón y el hormigón reforzado con clavos	86
4.4	Interpretación de resultados.....	88
4.5	Validación de hipótesis	89
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
5.1	Conclusiones	90

5.2	Recomendaciones.....	93
-----	----------------------	----

Bibliografía

ANEXOS

ANEXO 1. DESCRIPCIÓN PARA EL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

ANEXO 2.

DESCRIPCIÓN PARA EL ENSAYO DE GRANULONOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

ANEXO 3. DESCRIPCIÓN PARA EL ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO

ANEXO 4. DESCRIPCIÓN PARA EL ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO

ANEXO 5. DESCRIPCIÓN PARA EL ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

ANEXO 6. DESCRIPCIÓN PARA EL ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGRAGADO FINO

ANEXO 7. DESCRIPCIÓN PARA EL ENSAYO DE FINURA CEMENTO

ANEXO 8. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

ANEXO 9. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE HORMIGÓN

ANEXO 10. PLANILLA DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

ANEXO 11. DOSIFICACIÓN DE CLAVOS COMO FIBRA

ANEXO 12. CÁLCULO DEL MÓDULO DE RUPTURA

ANEXO 13. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE CLAVOS DE ALGUNAS OBRAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Curva carga – flecha a flexión para un SFRC	27
Figura 2.2 Diagrama de un aparato adecuado para los ensayos a la flexión del hormigón mediante el método de carga en los tercios.....	28
Figura 2.3 Curva tensión de tracción – alargamiento de morteros en función de la tracción	30
Figura 2.4 Curva carga-desplazamiento para rotura de fibras (tracción) y para deslizamiento de fibras (tracción).	30
Figura 2.5 Respuesta a compresión simple de SFRC con diferente esbeltez de probetas	32
Figura 2.6 Longitudes y secciones de las fibras de acero	35
Figuras 2.7 Ejecución ensayo Barcelona y esquema idealizado del método de ruptura.....	45
Figuras 2.8 Esquema del ensayo de viga con carga a tercios especificada en la ASTM C 78	47
Figuras 2.9 Configuración del ensayo de viga con carga centrada.....	48
Figuras 2.10 Diferentes configuraciones del ensayo de panel cuadrado	50
Figuras 2.11 Configuración y ejecución del RPD en laboratorio	51
Figuras 2.12 Vista en planta y detalle del apoyo del panel.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación y composición de los cementos	10
Tabla 2.2 Compuestos del cemento Portland.....	13
Tabla 2.3 Relación de trabajabilidad y resistencia del hormigón	19
Tabla 2.4 Coeficientes de conversión respecto a 28 días de edad, en los ensayos de resistencia a tracción	21
Tabla 2.5 Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción	22
Tabla 2.6 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños nominales de agregado	23
Tabla 2.7 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles	23
Tabla 2.8 Relación Agua /Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto	23
Tabla 2.9 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto	24
Tabla 2.10 Rango de proporciones de componentes para un SFRC.....	25
Tabla 2.11 Características mecánicas de las fibras	36
Tabla 2.12 Composición química de las fibras de acero.....	37
Tabla 2.13 Propiedades mecánicas de los clavos de acero y sus medidas.....	41
Tabla 2.14 Composición química del clavo de acero	41
Tabla 3.1 Recomendaciones de durabilidad para una vida útil de 100 años (agregado de 20 mm).....	53
Tabla 3.2 Ensayos a realizarse en la investigación	54
Tabla 3.3 Variables de la varianza en función al tiempo	55
Tabla 3.4 Nivel de confianza	56
Tabla 3.5 Número de ensayos a realizar en laboratorio.....	57
Tabla 3.6 Ensayos que se realizaron a los materiales	59
Tabla 3.7 Tamices de aberturas nominales en mm, según la ASTM.....	60
Tabla 3.8 Valores límites para la curva granulométrica del árido grueso.....	61
Tabla 3.9 Tamizado del agregado fino en la maquina tamizador mecánico.....	61
Tabla 3.10 Características geométricas de las fibras de acero y de los clavos de acero.....	67
Tabla 3.11 Características mecánicas de las fibras de acero y de los clavos de acero.....	68
Tabla 3.12 Composición química de la fibra de aceros vs clavos de acero	68

Tabla 3.13 Valores del ensayo de resistencia a compresión del hormigón.....	74
Tabla 3.14 Cantidad de vigas de hormigón prismáticas a ensayar	75
Tabla 3.15 Resumen de valores de Módulo de Ruptura, muestra patrón	77
Tabla 3.16 Análisis de precios unitarios para 1 m ³ de hormigón reforzado con clavos	79
Tabla 4.1 Datos de los ensayos de laboratorio realizados a los materiales.....	80
Tabla 4.2 Procedimiento de dosificación.....	81
Tabla 4.3 Pesos seco y húmedos de los materiales corregidos por m ³ de hormigón fck = 250 kg/cm ²	81
Tabla 4.4 Proporciones de mezcla seca	82
Tabla 4.5 Proporciones de mezcla húmeda.....	82
Tabla 4.6 Resumen de los valores promedios del ensayo a la flexión del hormigón en los porcentajes de 0%(sin adición de clavos), 9%, 12% y 15% de adición de clavos.....	82
Tabla 4.7 Consistencia del hormigón patrón (sin adición de clavos) y el hormigón reforzado con clavos.....	87

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 2.1 Clavos de 3” y 4“	42
Imagen 3.1 Planta chancadora de áridos La Ventolera	58
Imagen 3.2 Obtención de los áridos y método de Cuarteo del agregado	59
Imagen 3.3 Procedencia del uso de los clavos, en puntales y encofrado	65
Imagen 3.4 Clavos desechados en obra	66
Imagen 3.5 Recolección de clavos	66
Imagen 3.6 Clavos de 2 ½” de tamaño, recolectado de obras de construcción“	67
Imagen 3.7 Tratamiento del óxido con vinagre blanco	69
Imagen 3.8 Pesaje de los materiales	70
Imagen 3.9 Elaboración del hormigón	71
Imagen 3.10 Llenado de vigas con hormigón fresco	72
Imagen 3.11 Ensayo de compresión de las probetas del hormigón realizado en la máquina universal	73
Imagen 3.12 Ruptura de probetas cilíndricas a compresión realizada en la máquina universal	74
Imagen 3.13 Ensayo de flexión realizado en la máquina universal	77
Imagen 3.14 Ruptura de vigas de prueba	78
Imagen 3.15 Ensayo de ruptura a flexión de vigas con adición de clavos reciclados	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Diagrama de resistencia a la flexión del hormigón reforzado con clavos vs tiempo (al 9% de adición de clavos)	83
Gráfico 2 Diagrama de resistencia a la flexión del hormigón reforzado con clavos vs tiempo (al 12% de adición de clavos)	84
Gráfico 3 Diagrama de resistencia a la flexión del hormigón reforzado con clavos vs tiempo (al 15% de adición de clavos)	85
Gráfico 4 Análisis gráfico de la resistencia a la flexión del hormigón patrón (sin adición de clavos) vs hormigón con adición de clavos, a la edad de 28 días	86
Gráfico 5 Consistencia del hormigón patrón (sin adición de clavos) y el hormigón con clavos	87