

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO
TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN
Y LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN CAPAS DE RODADURA
DE PAVIMENTOS RÍGIDOS CON AGREGADO GRUESO DE
CONCRETO RECICLADO”**

Por:

MARÍA ÁNGELA VACA LÓPEZ

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

SEMESTRE I - 2024
TARIJA - BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y LA
RESISTENCIA A FLEXIÓN EN CAPAS DE RODADURA DE PAVIMENTOS
RÍGIDOS CON AGREGADO GRUESO DE CONCRETO RECICLADO”**

Por:

MARÍA ÁNGELA VACA LÓPEZ

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV – 502 (M. VÍAS)

SEMESTRE I - 2024

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre María Luisa López López por ser el pilar fundamental de mi vida y por demostrarme siempre su cariño, amor y apoyo incondicional, ya que hizo todo lo posible para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que no podía más. A ella por siempre todo mi amor y agradecimiento.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación problemática.....	2
1.2.1. Problema	2
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.....	2
1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.6. Operacionalización de las variables	5
1.6.1. Variable independiente.....	5
1.7. Identificación del tipo de investigación	6
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral	7
1.8.1. Unidad de estudio.....	7
1.8.2. Población.....	7
1.8.3. Muestra.....	7
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	9
1.9. Métodos y técnicas empleadas	9
1.9.1. Métodos.....	9

1.9.2. Técnicas.....	9
1.10. Procesamiento de la información.....	9
1.11. Alcance de la investigación.....	9

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE PAVIMENTO RÍGIDO CON AGREGADO RECICLADO

	Página
2.1. Pavimento.....	11
2.2. Pavimento rígido	12
2.3. Tipos de pavimento de concreto	13
2.3.1. Pavimentos de concreto simple.....	13
2.3.1.1. Sin pasadores.....	13
2.3.1.2. Con pasadores	14
2.3.2. Pavimentos de concreto reforzado con juntas.....	14
2.3.3. Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.....	14
2.4. Las capas que conforman el pavimento rígido.....	15
2.4.1. Subrasante	15
2.4.1.1. CBR (Californian Bearing Ratio).....	16
2.4.1.2. Penetrómetro dinámico de cono (PDC)	18
2.4.1.3. Prueba de placa	19
2.4.1.4. Módulo resiliente	20
2.4.2. Subbase	22
2.4.3. Losa.....	23
2.5. Juntas.....	24
2.5.1. Juntas de contracción	25

2.5.2. Juntas de construcción.....	25
2.5.3. Juntas de expansión o aislación.....	25
2.6. Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.....	25
2.6.1. Factores de diseño.....	26
2.6.2. Variables de diseño.....	27
2.6.2.1. Variables de tiempo.....	27
2.6.2.2. Tránsito.....	28
2.6.2.3. Confiabilidad y desviación estándar.....	28
2.6.3. Criterios de comportamiento.....	29
2.6.3.1. Serviciabilidad.....	29
2.6.4. Propiedades de los materiales.....	31
2.6.4.1. Módulo de reacción de la subrasante (K).....	31
2.6.4.2. Módulo de rotura del concreto.....	32
2.6.4.3. Módulo de elasticidad del concreto.....	32
2.6.5. Características estructurales.....	33
2.6.5.1. Drenaje.....	33
2.6.5.2. Transferencia de carga.....	34
2.7. Concreto.....	36
2.7.1. Cemento.....	37
2.7.1.1. Cementos hidráulicos.....	38
2.7.1.2. Principales características físicas de los cementos.....	39
2.7.1.2.1. Finura.....	40
2.7.1.2.2. Hidratación.....	41
2.7.1.2.3. Tiempo de fraguado.....	41
2.7.1.2.4. Resistencia mecánica.....	42

2.7.1.2.5. Endurecimiento	42
2.7.1.3. Cementantes del concreto hidráulico	43
2.7.2. Materiales pétreos utilizados en pavimentos de concreto hidráulico.....	44
2.7.2.1. Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto fresco.....	47
2.7.2.2. Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto endurecido.....	49
2.7.3. Agua para concreto	51
2.8. Agregados reciclados	54
2.8.1. Propiedades de los agregados reciclados	56
2.8.1.1. Forma y textura superficial	56
2.8.1.2. Granulometría	58
2.8.1.3. Densidad y absorción	58
2.8.1.4. Desgaste en máquina de los ángeles	59
2.9. Resistencia del concreto.....	60
2.9.1. Resistencia a la compresión	61
2.9.1.1. Módulo de Elasticidad (E_c).....	61
2.9.2. Resistencia a la flexión o módulo de rotura	62
2.9.2.1. Módulo de ruptura (resistencia de tensión por flexión)	63
2.10. Normativa internacional de concretos con agregados reciclados.....	64

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Página
3.1. Muestras	67
3.1.1. Agregado fino.....	67
3.1.2. Agregado grueso de concreto reciclado	67

3.1.2.1. Proceso de obtención del agregado grueso de concreto reciclado	67
3.1.3. Cemento	70
3.2. Localización de los agregados extraídos.....	70
3.2.1. Agregado fino.....	70
3.2.2. Agregado grueso de concreto reciclado	72
3.3 Caracterización de los materiales.....	72
3.3.1. Granulometría de los agregados ASTM C 136.....	72
3.3.1.1. Ensayo	72
3.3.1.2. Resultados	75
3.3.1.2.1. Agregado fino.....	75
3.3.1.2.2. Agregado grueso	78
3.3.2. Peso específico y absorción del agregado fino ASTM C 128.....	81
3.3.2.1. Ensayo	81
3.3.2.2. Resultados	82
3.3.3. Peso específico y absorción del agregado grueso ASTM C 127.....	83
3.3.3.1. Ensayo	83
3.3.3.2. Resultados	84
3.3.4. Peso unitario ASTM C 29	85
3.3.4.1. Ensayo	85
3.3.4.2. Resultados	87
3.3.4.2.1. Agregado fino.....	87
3.3.4.2.2. Agregado grueso	88
3.3.5. Desgaste del agregado grueso con la máquina de los Ángeles ASTM C 131	89
3.3.5.1. Ensayo	89
3.3.5.2. Resultados	90

3.3.6. Finura del cemento ASTM C 430.....	90
3.3.6.1. Ensayo.....	90
3.3.6.2. Resultados.....	91
3.3.7. Peso específico del cemento hidráulico ASTM C 188.....	92
3.3.7.1. Ensayo.....	92
3.3.7.2. Resultados.....	93
3.4. Dosificación.....	93
3.5. Resistencia a la compresión ASTM C 192, ASTM C 39 y la resistencia a la tracción por flexión ASTM C 192 y ASTM C 78.....	93
3.5.1. Elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas.....	93
3.5.2. Resultados.....	97

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1. Comparación de la caracterización del agregado grueso de concreto reciclado con un agregado grueso patrón.....	99
4.2. Evaluación de los resultados de la resistencia a compresión.....	101
4.3. Evaluación de los resultados de la resistencia a flexión.....	103
4.4. Estadística descriptiva.....	105
4.4.1. Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada.....	105
4.4.2. Cálculos de medidas de tendencia central y medidas de dispersión.....	109
4.5. Análisis de correlación.....	110
4.5.1. Diagrama de dispersión.....	110
4.5.2. Coeficiente de correlación.....	110
4.6. Estadística inferencial.....	111

4.6.1. Prueba de hipótesis.....	111
4.6.2. Intervalos de confianza	112

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	114
5.2. Recomendaciones.....	115

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1. Reporte fotográfico

ANEXO 2. Planillas

ANEXO 3. Dosificación

ANEXO 4. Costos

ANEXO 5. Diseño de capa de rodadura de pavimento rígido

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Sección típica de un pavimento	11
Figura 2. Construcción de pavimento rígido.....	13
Figura 3. Capas de pavimento rígido	15
Figura 4. Prensa CBR mecánica	17
Figura 5. Ejemplo típico de un resultado de un ensayo PDC.....	19
Figura 6. Ensayo de placa de carga.....	20
Figura 7. Equipo triaxial cíclico.....	21
Figura 8. Estructura tipo de un pavimento rígido	24
Figura 9. Composición de un concreto	36
Figura 10. Cemento.....	39
Figura 11. Finura de cemento	40
Figura 12. Hidratación del cemento.....	41
Figura 13. Fraguado del cemento.....	42
Figura 14. Endurecimiento del cemento	43
Figura 15. Materiales pétreos.....	45
Figura 16. Agua para concreto.....	52
Figura 17. Reciclado de escombros de concreto.....	55
Figura 18. Forma y textura de agregado grueso de concreto reciclado.....	57
Figura 19. Máquina de abrasión de los ángeles	60
Figura 20. Relación entre esfuerzo y deformación	61
Figura 21. Escombros de concreto.....	68
Figura 22. Selección de escombros.....	68
Figura 23. Transporte del material.....	69
Figura 24. Material triturado.....	69
Figura 25. Cernido del material triturado.....	70
Figura 26. Imagen satelital de la ubicación banco de préstamo Áridos Garzón	71
Figura 27. Banco de préstamo Áridos Garzón.....	71
Figura 28. Imagen satelital de ubicación de extracción de escombros	72

Figura 29. Juego de tamices para la granulometría del agregado grueso.....	73
Figura 30. Juego de tamices para granulometría del agregado fino.....	74
Figura 31. Matraz con la muestra y agua hasta la marca de calibración.....	82
Figura 32. Agregado grueso sumergido en cesto metálico	84
Figura 33. Peso unitario suelto del agregado grueso.....	86
Figura 34. Peso unitario compactado del agregado fino	86
Figura 35. Máquina de desgaste de los ángeles	89
Figura 36. Muestra de 50 gr de cemento.....	91
Figura 37. Vaso de precipitado introducida la muestra de cemento	92
Figura 38. Elaboración de la mezcla de concreto	94
Figura 39. Molde lleno de mezcla.....	95
Figura 40. Probeta sometida a la fuerza de compresión.....	96
Figura 41. Viga sometida a la fuerza de flexotracción.....	96

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Nivel de investigación.....	7
Gráfico 2. Curva granulométrica de la muestra N°1 del agregado fino	75
Gráfico 3. Curva granulométrica de la muestra N°2 del agregado fino	76
Gráfico 4. Curva granulométrica de la muestra N°3 del agregado fino	77
Gráfico 5. Curva granulométrica de la muestra N°1 del agregado grueso.....	78
Gráfico 6. Curva granulométrica de la muestra N°2 del agregado grueso.....	79
Gráfico 7. Curva granulométrica de la muestra N°3 del agregado grueso.....	80
Gráfico 8. Agregado grueso patrón vs. agregado grueso reciclado.....	100
Gráfico 9. Resistencia a compresión	103
Gráfico 10. Resistencia a flexión	105
Gráfico 11. Frecuencia absoluta de resistencia a compresión	106
Gráfico 12. Frecuencia acumulada de resistencia a compresión	106
Gráfico 13. Frecuencia absoluta de resistencia a flexión	107
Gráfico 14. Frecuencia acumulada de resistencia a flexión	108
Gráfico 15. Diagrama de dispersión de la resistencia a compresión y la resistencia a flexión.....	110
Gráfico 16. Prueba de hipótesis.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Conceptualización y operacionalización de la variable	6
Tabla 2. Ajuste de número de ensayos.....	8
Tabla 3. Clasificación del suelo de acuerdo con el CBR	18
Tabla 4. Períodos de análisis.....	27
Tabla 5. Niveles de confiabilidad.....	28
Tabla 6. Relación de confiabilidad y el valor de Z_R	29
Tabla 7. Coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos	34
Tabla 8. Coeficientes de transferencia de cargas	35
Tabla 9. Granulometría de la muestra N°1 del agregado fino.....	75
Tabla 10. Granulometría de la muestra N°2 del agregado fino.....	76
Tabla 11. Granulometría de la muestra N°3 del agregado fino.....	77
Tabla 12. Granulometría de la muestra N°1 del agregado grueso.....	78
Tabla 13. Granulometría de la muestra N°2 del agregado grueso.....	79
Tabla 14. Granulometría de la muestra N°3 del agregado grueso.....	80
Tabla 15. Peso específico y absorción del agregado fino	82
Tabla 16. Peso específico y absorción del agregado grueso	84
Tabla 17. Peso unitario suelto del agregado fino	87
Tabla 18. Peso unitario compactado del agregado fino	87
Tabla 19. Peso unitario suelto del agregado grueso	88
Tabla 20. Peso unitario compactado del agregado grueso	88
Tabla 21. Desgaste del agregado grueso con la máquina de los ángeles	90
Tabla 22. Finura del cemento.....	91
Tabla 23. Peso específico del cemento.....	93
Tabla 24. Resistencia a compresión.....	97
Tabla 25. Resistencia a flexión	98
Tabla 26. Comparación de características entre un agregado patrón y el agregado grueso reciclado	99
Tabla 27. Resistencia a compresión.....	101

Tabla 28. Factor de tiempo menor a 28 días	102
Tabla 29. Resistencia a flexión	103
Tabla 30. Frecuencia de la resistencia a compresión	105
Tabla 31. Frecuencia de la resistencia a flexión.....	107
Tabla 32. Medidas de tendencia de resistencia a compresión	109
Tabla 33. Medidas de tendencia de resistencia a flexión	109
Tabla 34. Intervalo de confianza (CI) de resistencia a compresión	112
Tabla 35. Intervalo de confianza (CI) de resistencia a flexión.....	112