

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LA CASCARILLA DE HUEVO
PULVERIZADO EN LAS LOSAS DE HORMIGÓN, APLICADO A
CARRETERAS DE TRÁFICO VEHICULAR LIVIANO.”**

Por:

GRECIA MASSIEL ANDRADE CASTILLO

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

SEMESTRE I- 2023

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE LA COMUNICACIÓN

**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LA CASCARILLA DE HUEVO
PULVERIZADO EN LAS LOSAS DE HORMIGÓN, APLICADO A
CARRETERAS DE TRÁFICO VEHICULAR LIVIANO.”**

Por:

ANDRADE CASTILLO GRECIA MASSIEL

Proyecto elaborado en la asignatura de CIV 502, presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I- 2023

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIAS

A mis padres Luis Fausto Andrade Franco y Edith Silvia Castillo Noguera por su apoyo incondicional en toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida, a mis abuelitos por siempre estar presentes en toda mi vida, a mis hermanos y novio por su apoyo brindado.

INDICE GENERAL

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Situación problemática.	2
1.2.1.Problema.....	3
1.2.2.Relevancia y factibilidad del problema.	3
1.2.3.Delimitación temporal y espacial del problema.	4
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.....	6
1.6.1.Variable independiente.	7
1.6.2.Variable dependiente.	7
1.7. Identificación del tipo de investigación.....	7
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral.....	8
1.8.1.Unidad de estudio.	8
1.8.2.Población.	8
1.8.3.Muestra.	9
1.8.4.Selección de las técnicas de muestreo.	9
1.9. Métodos y técnicas empleadas.....	11

1.9.1. Métodos.	11
1.9.2. Técnicas.	11
1.9.3. Recolección de datos.	12
1.10. Procesamiento de la información.....	12
1.11. Alcance de la investigación.	13

CAPITULO II
ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO RIGIDO

	Página
2.1. Pavimento.	14
2.2. Clasificación del pavimento.	15
2.2.1. Pavimentos rígidos.....	15
2.3. Clasificación de los pavimentos de concreto.....	16
2.3.1. Pavimento de concreto simple con juntas (JPCP).	16
2.3.2. Capas del pavimento rígido.	17
2.3.3. Cargas en el pavimento rígido.	19
2.3.4. Esfuerzos en el pavimento rígido.	20
2.3.5. Propiedades estructurales.....	24
2.4. El hormigón.	26
2.4.1. Cemento.	27
2.4.2. Agregados.	31
2.4.3. Agua.....	34
2.5. Cascarilla de huevo.....	35
2.5.1. Cascarilla pulverizada.....	36

CAPITULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

	Página
3.1. Ubicación geográfica.....	39
3.1.1.Ubicación en el contexto nacional.....	39
3.1.2.Ubicación en el contexto departamental.....	39
3.1.3.Ubicación en el contexto regional.	40
3.1.4.Ubicación del banco de materiales.	41
3.2. Materiales usados.....	42
3.2.1.Muestreo de agregados.	42
3.2.2.Lavado de material.	43
3.2.3.Cascarilla de huevo pulverizada.	44
3.3. Ensayos de laboratorio.....	45
3.3.1.Ensayo de granulometría agregado grueso y fino.....	45
3.3.2.Ensayo desgaste máquina de los ángeles.....	49
3.3.3.Ensayo peso específico en el agregado grueso.	52
3.3.4.Ensayo peso específico en el agregado fino.	53
3.3.5.Ensayo peso unitario agregado grueso.	55
3.3.6.Ensayo peso unitario agregado fino.....	57
3.3.7.Ensayo contenido de humedad agregado grueso y fino.....	59
3.3.8.Ensayo finura del cemento.....	60
3.3.9.Ensayo peso específico del cemento.....	61
3.3.10. Ensayo contenido de humedad cascarilla de huevo.....	62
3.4. Dosificación de la mezcla del hormigón.	63

3.4.1. Dosificación de hormigones para pavimentos rígidos con cemento IP-40.....	63
3.5. Determinación de porcentajes de cascarilla de huevo pulverizada.	64
3.5.1. Ensayos del asentamiento del cono de Abrams.....	64
3.5.2. Ensayos de resistencia a compresión de probetas cilíndricas.....	68
3.6. Ensayos para determinar la resistencia a flexo-tracción.....	73
3.6.1. Ensayos del asentamiento del cono de Abrams.....	73
3.6.2. Ensayos de resistencia a flexo-tracción de vigas prismáticas.....	78

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1. Análisis de los resultados de asentamiento.....	92
4.2. Análisis estadístico de la resistencia a la flexo-tracción.....	93
4.3. Análisis general de resultados.	95
4.4. Análisis individual de resultados.....	96
4.5. Porcentaje óptimo de cascarilla de huevo pulverizada.....	98
4.6. Análisis del efecto de la cascarilla pulverizada a resistencia a flexo tracción.....	101
4.7. Análisis de costos.	101
4.8. Análisis de la diferencia con otros estudios del porcentaje óptimo de cascarilla.	105
4.9. Análisis de otros materiales con propiedad similar a la cascarilla, más factibles.	106
4.10. Análisis de factibilidad con cascarilla en pavimentos mayor o igual una cuadra.	108
4.11. Diseño de espesores para diferentes subrasantes (mala, buena y excelente)	113
4.11.1. Obtención de datos para diseño de espesores con el método AASHTO -93 ...	113
4.11.2. Dimensionamiento de espesor con el programa.	120
4.12. Evaluación técnica, económica y ambiental sobre el uso de la cascarilla.	128

4.12.1. Evaluacion técnica.....	128
4.12.2. Evaluacion Económica.....	130
4.12.3. Evaluacion Ambiental.....	131
4.13. Evaluación y comparación de hormigones con cascarilla a misma resistencia....	133

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones.....	139
5.2. Recomendaciones.....	140

BIBLIOGRAFIA

ANEXO 1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

ANEXO 2 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGON

ANEXO 3 FICHA TÉCNICA CASCARILLA DE HUEVO PULVERIZADO

ANEXO 4 RESULTADOS

ANEXO 5 ANÁLISIS ESTADISTICO

ANEXO 6 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANEXO 7 REPORTE FOTOGRÁFICO

ANEXO 8 DISEÑO DE ESPESORES

ANEXO 9 EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Página
Ilustración 1. Diferencias entre pavimento rígido y flexible.	16
Ilustración 2. Esquema de pavimento de concreto simple con juntas.	17
Ilustración 3. Capas de un pavimento rígido.	17
Ilustración 4. Capas del pavimento rígido y espesores comúnmente usados.	19
Ilustración 5. Alabeo de la losa de pavimento rígido.	20
Ilustración 6. Alabeo causado por cambios de humedad.	21
Ilustración 7. Puntos críticos de localización de las cargas.	22
Ilustración 8. Esquema de ensayo ASTM C-78.	25
Ilustración 9. Relación de volumen típica de los materiales del hormigón.	27
Ilustración 10. Bolsa de cemento fancesa IP- 40 superior.	30
Ilustración 11. Cascarilla de huevo.	36
Ilustración 12. Cascarilla de huevo pulverizada.	37
Ilustración 13. Lavado y secado de la cascarilla de huevo.	38
Ilustración 14. Cascarilla pulverizada.	38
Ilustración 15. Mapa político del estado plurinacional de Bolivia.	39
Ilustración 16. Mapa político del departamento de Tarija.	40
Ilustración 17. Mapa de la provincia Cercado.	40
Ilustración 18. Ruta de camino al banco de materiales Charajas.	41
Ilustración 19. Chancadora de áridos Charajas.	41
Ilustración 20. Extracción de agregado grueso.	42
Ilustración 21. Extracción de agregado fino.	42
Ilustración 22. Limpieza y lavado del material.	43
Ilustración 23. Proceso de extendido del material para su secado.	43
Ilustración 24. Molido de la cascarilla de huevo.	44
Ilustración 25. Tamizado del material listo para utilizar.	44
Ilustración 26. Cuarteo y pesado del agregado grueso.	46
Ilustración 27. Tamizado y pesado del retenido por tamiz.	46
Ilustración 28. Pesado del agregado fino.	48

Ilustración 29. Tamizado del agregado fino.	48
Ilustración 30. Retenido en tamices.	48
Ilustración 31. Retenido necesario a utilizar.	50
Ilustración 32. Incorporar el material a la máquina para el desgaste de los ángeles.	50
Ilustración 33. Obtención y tamizado del material sacado de la máquina.	51
Ilustración 34. Lavado del material para la obtención de resultados finales.	51
Ilustración 35. Preparación del agregado grueso (sumergido en agua 24 horas).	52
Ilustración 36. Secado superficial del material antes de colocarlo en la cesta.	53
Ilustración 37. Preparación del agregado fino para obtener su peso específico.	54
Ilustración 38. Medir temperatura.	54
Ilustración 39. Colocado de muestras en el horno para obtener datos finales.	55
Ilustración 40. Pesado del molde para el ensayo de peso unitario con agua.	56
Ilustración 41. Medir la temperatura del agua.	56
Ilustración 42. Apisonado para la obtención del peso unitario compactado.	57
Ilustración 43. Obtención del peso unitario suelto agregado fino.	58
Ilustración 44. Apisonado de muestra para peso unitario compactado.	59
Ilustración 45. Muestras para el cálculo de contenido de humedad agregado grueso.	59
Ilustración 46. Obtención de contenido de humedad de muestras de agregado fino.	60
Ilustración 47. Obtención del peso del cemento antes de tamizarlo.	61
Ilustración 48. Retenido en el tamiz N° 200.	61
Ilustración 49. Medición de la temperatura de la gasolina.	62
Ilustración 50. Pesado de la muestra del cemento para el peso específico.	62
Ilustración 51. Obtención de contenido de humedad, muestras de cascarilla.	63
Ilustración 52. Ensayo del cono de Abrams.	64
Ilustración 53. Medición del asentamiento de la mezcla.	65
Ilustración 54. Llenado de cono con hormigón y un porcentaje de cascarilla.	67
Ilustración 55. Llenado del cono para su posterior extracción del molde.	67
Ilustración 56. Medición del asentamiento en una muestra con cascarilla.	68
Ilustración 57. Preparación de cilindros con hormigón (patrón).	68
Ilustración 58. Ruptura de cilindros con hormigón de alta resistencia.	69
Ilustración 59. Preparación de cilindros con porcentajes diferentes de cascarilla.	71

Ilustración 60. Ruptura de cilindros utilizando 1% de cascarilla.	71
Ilustración 61. Ruptura de cilindros utilizando 2% de cascarilla.	71
Ilustración 62. Ruptura de cilindros utilizando 3% de cascarilla.	72
Ilustración 63. Ruptura de cilindros utilizando 4% de cascarilla.	72
Ilustración 64. Ruptura de cilindros utilizando 5% de cascarilla.	72
Ilustración 65. Realización del ensayo del cono de Abrams.	73
Ilustración 66. Medición del asentamiento.	74
Ilustración 67. Llenado y apisonado para ensayo de cono de Abrams.	76
Ilustración 68. Razado del cono bien apisonado.	76
Ilustración 69. Medición del asentamiento del hormigón con 0,50% de cascarilla.	77
Ilustración 70. Medición del asentamiento del hormigón con 1% de cascarilla.	77
Ilustración 71. Vigas prismáticas con hormigón de alta resistencia.	79
Ilustración 72. Anotación de datos para poner a la máquina de ruptura.	79
Ilustración 73. Viga de alta resistencia en prensa hidráulica.	80
Ilustración 74. Rotura de viga prismática con hormigón de alta resistencia.	80
Ilustración 75. Preparación de vigas prismáticas con cascarilla pulverizada.	84
Ilustración 76. Movimiento de vigas para pesarlas.	84
Ilustración 77. Colocación de viga en la prensa hidráulica y llenado de datos.	85
Ilustración 78. Viga con cascarilla en prensa hidráulica.	85
Ilustración 79. Rotura de vigas con cascarilla de huevo.	86
Ilustración 80. Vista de rotura de vigas con cascarilla en distintos porcentajes.	86
Ilustración 81. Vaciado en moldes de vigas para correcciones.	88
Ilustración 82. Apisonado en vigas para eliminar vacíos.	88
Ilustración 83. Muestras de vigas en la piscina por 28 días.	89
Ilustración 84. Medición de vigas antes de su ruptura.	89
Ilustración 85. Resistencias a flexo tracción aguantadas en pruebas iniciales.	90
Ilustración 86. Acomodado y forma de ruptura de una muestra inicial.	90
Ilustración 87. Muestra con resistencia óptima aumentando 0,50kg de cemento.	91
Ilustración 88. Diseño de un pavimento rígido.	109
Ilustración 89. Capas del pavimento rígido y espesores comúnmente usados.	109
Ilustración 90. Dimensionamiento CBR=2% H° Alta Resistencia.	120

Ilustración 91. Dimensionamiento CBR=2% H° con 0,50% de cascarilla.....	121
Ilustración 92. Dimensionamiento CBR=15% H° Alta Resistencia.	122
Ilustración 93. Dimensionamiento CBR=15% H° con 0,50% de cascarilla.....	123
Ilustración 94. Dimensionamiento CBR=40% H° Alta Resistencia.	124
Ilustración 95. Dimensionamiento CBR=40% H° con 0,50% de cascarilla.....	125
Ilustración 96. Presentación de la cascarilla de huevo utilizada.	129
Ilustración 97. Como es desechada la cascara de huevo y podría ser reutilizada.	131

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Conceptualización y operacionalización de la variable independiente.....	6
Tabla 2. Conceptualización y operacionalización de la variable dependiente.....	7
Tabla 3. Unidad elemental, población y muestra.....	8
Tabla 4. Tamaño de población para ensayos de laboratorio.....	8
Tabla 5. Tamaño de muestra para ensayos de laboratorio.....	9
Tabla 6. Población y muestra estratificada de ensayos de laboratorio.....	10
Tabla 7. Muestra estratificada.....	11
Tabla 8. Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento.....	23
Tabla 9. Resistencias a flexión del hormigón.....	25
Tabla 10. Granulometrías de agregado grueso para pavimentos hormigón.....	32
Tabla 11. Granulometría de agregado fino para pavimentos de hormigón.....	34
Tabla 12. Límites permisibles máximo del agua.....	35
Tabla 13. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	45
Tabla 14. Análisis granulométrico del agregado fino.....	47
Tabla 15. Grados de ensayo (definidos por su rango de acuerdo al tamaño, en mm).....	49
Tabla 16. Resultados del ensayo (ASTM C 131).....	49
Tabla 17. Resultados finales del ensayo (ASTM C 131).....	49
Tabla 18. Peso de muestras para determinar su peso específico.....	52
Tabla 19. Resultados del ensayo peso específico.....	52
Tabla 20. Peso de las muestras para determinar su peso específico.....	53
Tabla 21. Resultados de peso específico agregado fino.....	53
Tabla 22. Cálculo de peso unitario suelto.....	55
Tabla 23. Cálculo de peso unitario compactado.....	55
Tabla 24. Cálculo peso unitario suelto del agregado fino.....	57
Tabla 25. Cálculo peso unitario compactado del agregado fino.....	58
Tabla 26. Cálculo del contenido de humedad del agregado grueso.....	59
Tabla 27. Cálculo del contenido de humedad del agregado fino.....	60
Tabla 28. Obtención de la finura del cemento IP- 40.....	60

Tabla 29. Cálculo del peso específico del cemento.	61
Tabla 30. Cálculo contenido de humedad cascarilla de huevo.	62
Tabla 31. Proporciones de materiales para moldes cilíndricos y prismáticos.....	63
Tabla 32. Resultados del asentamiento del hormigón (patrón).....	64
Tabla 33. Resultados del asentamiento del hormigón sustituyendo 1% de cascarilla. ...	65
Tabla 34. Resultados del asentamiento del hormigón sustituyendo 2% de cascarilla. ...	66
Tabla 35. Resultados del asentamiento del hormigón sustituyendo 3% de cascarilla. ...	66
Tabla 36. Resultados del asentamiento del hormigón sustituyendo 4% de cascarilla. ...	66
Tabla 37. Resultados del asentamiento del hormigón sustituyendo 5% de cascarilla. ...	67
Tabla 38. Resistencia a compresión de cilindros con hormigón (patrón).	68
Tabla 39. Resistencia a compresión usando 1% de cascarilla pulverizada.	69
Tabla 40. Resistencia a compresión utilizando 2% de cascarilla pulverizada.	69
Tabla 41. Resistencia a compresión utilizando 3% de cascarilla pulverizada.	70
Tabla 42. Resistencia a compresión utilizando 4% de cascarilla pulverizada.	70
Tabla 43. Resistencia a compresión utilizando 5% de cascarilla pulverizada.	70
Tabla 44. Resultados del ensayo del cono de Abrams (hormigón de alta resistencia). ..	73
Tabla 45. Resultados de asentamiento para hormigón con 0,50% de cascarilla.	74
Tabla 46. Resultados de asentamiento para hormigón con 1% de cascarilla.	75
Tabla 47. Resultados de asentamiento para hormigón con 5% de cascarilla.	75
Tabla 48. Resultados de resistencia a flexión en vigas con hormigón (patrón).	78
Tabla 49. Resultados de ensayo a flexo-tracción con 0,50% de cascarilla.	81
Tabla 50. Resultados de ensayo a flexo-tracción con 1% de cascarilla.	82
Tabla 51. Resultados de ensayo a flexo-tracción con 5% de cascarilla.	83
Tabla 52. Resultados de ensayo a flexo tracción aumentando cemento.	87
Tabla 53. Resultados de ensayo a flexo tracción aumentando 0,50kg de cemento.....	87
Tabla 54. Resultados del asentamiento promedio.....	92
Tabla 55. Diseño estándar con hormigón de alta resistencia.	93
Tabla 56. Diseño con hormigón con 0,50 % de cascarilla de huevo pulverizada.	94
Tabla 57. Diseño con hormigón con 1 % de cascarilla de huevo pulverizada.	94
Tabla 58. Diseño con hormigón con 5 % de cascarilla de huevo pulverizada.	94
Tabla 59. Resistencias promedio de vigas (patrón y con cascarilla).....	99

Tabla 60. Porcentaje óptimo de cascarilla.....	100
Tabla 61. Proporciones de materiales óptimos.	100
Tabla 62. Cantidad de materiales necesarios para 1m ³ de hormigón.....	100
Tabla 63. Cantidad de cascarilla de huevo pulverizada para 1m ³	100
Tabla 64. Presupuesto general.....	104
Tabla 65. Diferencias con estudios del porcentaje óptimo.....	105
Tabla 66. Análisis de materiales con propiedades similares a la cascara de huevo.	107
Tabla 67. Cantidad total de cascarilla de huevo en prácticas.	108
Tabla 68. Dosificación del hormigón sin cascarilla de huevo.....	110
Tabla 69. Pesos de los materiales requeridos sin cascarilla de huevo.....	110
Tabla 70. Dosificación del hormigón con cascarilla de huevo	110
Tabla 71. Pesos de los materiales requeridos con cascarilla de huevo.	111
Tabla 72. Presupuestos para un hormigón de alta resistencia sin y con Cascarilla.....	111
Tabla 73. Número de ESAL que circulan en la calle Alberto Vedia	113
Tabla 74. Desviación estándar para pavimento rígido y flexible.	114
Tabla 75. Coeficiente de drenaje.....	115
Tabla 76. Nivel de confiabilidad del pavimento rígido.....	116
Tabla 77. Transferencia de cargas para pavimento rígido.	116
Tabla 78. Resistencia a flexión.	117
Tabla 79. Datos para el cálculo de espesores.	119
Tabla 80. Espesor de pavimento CBR= 2% (Malo).....	121
Tabla 81. Espesor de pavimento CBR= 15% (Bueno).....	123
Tabla 82. Espesor de pavimento CBR= 40% (Excelente).	125
Tabla 83. Resultados finales de espesores según su CBR.....	126
Tabla 84. Resistencias a flexión en hormigones sin y con cascarilla de huevo.	128
Tabla 85. Trabajabilidad muestra patrón VS muestra óptima.....	129
Tabla 86. Presupuesto comparativo hormigón patrón VS hormigón óptimo.....	130
Tabla 87. Resumen total de la Evaluación.	132
Tabla 88. Evaluación de manera porcentual.	133
Tabla 89. Análisis estadístico aumentando cemento y obtener la resistencia óptima... 133	
Tabla 90. Resultados obtenidos del análisis estadístico.....	134

Tabla 91. Cálculo del volumen necesario para una viga.....	135
Tabla 92. Material necesario para el vaciado de una viga.	136
Tabla 93. Diferencia de precio viga patrón, 0,50% cascarilla y aumento cemento.	137

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfico 1. Curva granulométrica del agregado grueso.	45
Gráfico 2. Curva granulométrica del agregado fino.....	47
Gráfico 3. Comportamiento del asentamiento en función al porcentaje de cascarilla. ...	92
Gráfico 4. Efecto de la cascarilla pulverizada en la resistencia a flexo-tracción.	95
Gráfico 5. Hormigón de alta resistencia vs hormigón con 0,50% de cascarilla.....	96
Gráfico 6. Hormigón de alta resistencia vs hormigón con 1% de cascarilla.....	97
Gráfico 7. Hormigón de alta resistencia vs hormigón con 5% de cascarilla.....	98
Gráfico 8. Curva de resistencias promedio (patrón y con cascarilla).....	99
Gráfico 9. Curva de efecto de la cascarilla en la resistencia a flexo-tracción.....	101
Gráfico 10. Comparación de costos en mezclas con cascarilla.....	102
Gráfico 11. Costo de hormigón alta resistencia VS hormigón con cascarilla óptima...	103
Gráfico 12. Demostración de espesor CBR=2%.....	122
Gráfico 13. Demostración de espesor CBR=15%.....	124
Gráfico 14. Demostración de espesor CBR=40%.....	126
Gráfico 15. Diferencia de espesores entre los 3 CBR (cm).	127
Gráfico 16. Diferencia entre las resistencias de muestras patrón VS óptima.	128
Gráfico 17. Muestra 0,50% CH (óptima) VS 0,50Kg aumento de cemento.....	134
Gráfico 18. Cantidad de cemento aumentado para 1m ³ concreto (resistencia óptima).	137