REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Análisis de la gravedad específica máxima teórica según tiempos de absorción de asfalto por parte de los agregados para mezclas asfálticas en caliente mediante el ensayo rice en la ciudad de Arequipa, 2025

Tesis presentada por la Bachiller:

Garay Chirinos, Fiama Miriam

ORCID: 0009-0004-9641-508X

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Gamarra Tuco, Ruben Francisco

ORCID: 0000-0003-1748-5887

Arequipa – Perú

2026

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 12 de Noviembre del 2025

Dictamen: 010958-C-EPIC-2025

Visto el borrador del expediente 010958, presentado por:

2016220702 - GARAY CHIRINOS FIAMA MIRIAM

Titulado:

ANÁLISIS DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA SEGÚN TIEMPOS DE ABSORCIÓN DE ASFALTO POR PARTE DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL ENSAYO RICE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA, 2025

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

29329377 - NEIRA ARENAS JULY LILIAM
DICTAMINADOR

41587204 - GARCIA GODOS PEÑALOZA LUZ MATILDE
DICTAMINADOR

46890195 - DE LA CRUZ MENDOZA FERNANDO ARON
DICTAMINADOR

Análisis de la gravedad específica máxima según tiempos de absorción de asfalto por parte de los agregados para mezclas asfálticas en caliente mediante el ensayo rice en la ciudad de Arequipa, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	16%	3%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
6	vbook.pub Fuente de Internet	1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

A las dos personas que más amo en el mundo, mi madre, Miriam Chirinos y mi tía, Adela Chirinos; quienes son el mayor ejemplo de resiliencia y dedicación, y son la motivación para cada meta en mi vida; todo lo que soy y seré es por ustedes.

A mis hermanas, Vanessa y Fiorella, quienes me han apoyado incondicionalmente en cada paso que doy.

A mi sobrino Carlitos por alegrar cada uno de mis días, esperando ser un buen ejemplo para él.

A mi abuela Magda, por motivarme desde muy pequeña a apuntar siempre a lo más alto.

A mi padre, Javier Garay, por ser la inspiración para estudiar esta carrera.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme hasta aquí y permitirme superar todas las dificultades que se presentaron en el camino.

A mis padres por permitirme estudiar una carrera profesional y ser la inspiración y soporte.

A mi alma máter, la Universidad Católica de Santa María y a todos sus docentes, por impartir educación de calidad y, gracias a sus conocimientos, permitir la formación de grandes profesionales.

A mi asesor y maestro, Rubén Gamarra Tuco, por brindarme su apoyo y conocimientos en todo este proceso.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo comprender cómo los tiempos de absorción de los agregados afectan la densidad y la estabilidad de las mezclas asfálticas. Para ello, se realizaron diversas pruebas con diferentes tiempos de absorción (1, 7, 15, 30, 60, 75 y 90 días), y los resultados fueron comparados con las mezclas asfálticas convencionales.

Los resultados obtenidos mostraron que la absorción de los agregados afecta significativamente la gravedad específica máxima de la mezcla. A medida que el tiempo de absorción aumentó, la gravedad específica de las mezclas también aumentó, lo que sugiere que los agregados con mayor absorción proporcionan una mayor densidad a la mezcla asfáltica. Además, se evidenció que la variabilidad en la absorción de los agregados impactó en la cantidad de asfalto necesario, destacando la importancia de controlar la absorción para optimizar el diseño de la mezcla.

Se observó también que el aumento de la gravedad específica máxima es progresivo durante los primeros 60 días, conforme se llegó a los 75 y 90 días dicho parámetro cambió su tendencia de lineal creciente a constante, lo que sugiere un límite de tiempo en el cual la mezcla llega a su punto de mayor compactación y porcentaje de vacíos de aire. El estudio recomienda un ajuste preciso en los tiempos de secado y la absorción de los agregados, especialmente en zonas con condiciones climáticas variables. Asimismo, se sugiere realizar estudios adicionales para evaluar el comportamiento de las mezclas asfálticas con diferentes tipos de agregados y condiciones de absorción en escenarios de tráfico real.

Palabras clave: Gravedad específica máxima, Mezclas asfálticas, Ensayo Rice.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

The present study aimed to understand how aggregate absorption times affect the density and stability of asphalt mixtures. To this end, various tests were conducted with different absorption times (1, 7, 15, 30, 60, 75 and 90 days), and the results were compared with conventional asphalt mixtures.

The results showed that aggregate absorption significantly affects the maximum specific gravity of the mixture. As the absorption time increased, the specific gravity of the mixtures also increased, suggesting that aggregates with higher absorption provide greater density to the asphalt mixture. Furthermore, it was evident that variability in aggregate absorption impacted the amount of asphalt required, highlighting the importance of controlling absorption to optimize mix design.

It was also observed that the increase in maximum specific gravity is progressive during the first 60 days, as days 75 and 90 were reached, this parameter changed its trend from linearly increasing to constant, which suggests a time limit in which the mixture reaches its point of maximum compaction and percentage of air voids

The study recommends fine-tuning aggregate drying times and absorption, especially in areas with variable climatic conditions. It also suggests conducting additional studies to evaluate the performance of asphalt mixtures with different aggregate types and absorption conditions in real-life traffic scenarios.

Keywords: Maximum specific gravity, Asphalt mixtures, Rice test.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 3

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4

1.1. Formulación del problema 4

1.1.1 Problema general 5

1.1.2 Problemas específicos 5

1.2. Justificación de la investigación 6

1.2.1. Teórica 6

1.2.2. Práctica 6

1.2.3. Social 6

1.2.4. Metodológica 6

1.3. Objetivos de investigación 7

1.3.1. Objetivo general 7

1.3.2. Objetivos específicos 7

1.4. Hipótesis 7

1.5. Alcances 7

CAPÍTULO II 9

2. FUNDAMENTO TEÓRICO 10

2.1. Antecedentes 10

2.2. Marco teórico 14

2.2.1. Concepto de pavimento 14

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.2. Mezclas asfálticas 19

2.2.3. Agregados 26

2.2.4. Propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas 31

2.2.5. Absorción de los agregados 39

2.2.6. Factores a considerar en el Diseño de Pavimentos 40

2.2.7. Métodos de diseño de estructuras de pavimentos 41

2.2.8. Método AASHTO-MEPDG 45

2.2.9. Capacidad estructural 46

2.2.10. Ensayo de absorción de agregados 48

2.2.11. Método de ensayo Rice 49

2.2.12. Método de ensayo Marshall 53

2.3. Marco Legal 57

CAPÍTULO III 60

3. METODOLOGÍA PROPUESTA 61

3.1. Tipo de investigación 61

3.2. Método de investigación 62

3.3. Variables 62

3.3.1. Operacionalización de variables 63

3.4. Materiales y lugar de ejecución 63

3.4.1. Lugar 63

3.5. Población, muestra y muestreo 63

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 64

3.6.1. Procedimientos 64

3.6.2. Método de análisis de datos 65

3.7. Aspectos éticos 66

CAPÍTULO IV 67

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS 68

4.1. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados 68

4.1.1. Granulometría del agregado fino 68

4.1.2. Granulometría del agregado grueso 80

4.1.3. Porcentaje de material más fino que el tamiz n°200 93

4.1.4. Índice de plasticidad malla n°40 95

4.1.5. Partículas chatas y alargadas 98

4.1.6. Caras fracturadas – Agregado grueso – Método B 101

4.1.7. Agregado fino – Equivalente de arena 107

4.1.8. Abrasión máquina de los ángeles 110

4.1.9. Peso específico y absorción del agregado fino 112

4.1.10. Peso específico y absorción del agregado grueso 115

4.1.11. Gravedad específica del filler 118

4.1.12. Durabilidad al sulfato de magnesio 120

4.1.13. Angularidad del agregado fino 125

4.1.14. Azul de metileno agregado fino 128

4.1.15. Índice de durabilidad agregado fino 131

4.1.16. Índice de durabilidad agregado grueso 133

4.1.17. Sales solubles agregado fino 135

4.1.18. Sales solubles agregado grueso 137

4.1.19. Adherencia del agregado fino 139

4.1.20. Resumen de ensayos a los agregados 140

4.2. Diseño de mezcla 142

4.1.1 Combinación de agregados 151

4.1.2 Contenido óptimo de asfalto teórico 157

4.1.3 Dosificación para mezclas bituminosas 163

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.4 Determinación del porcentaje de asfalto teórico en mezcla 164

4.1.5 Proporciones globales en peso para mezclas de agregados 166

4.3. Peso específico Bulk 169

4.4. Ensayo de Rice 186

4.5. Ensayo Marshall 205

4.6. Tracción indirecta 331

4.7. Inmersión - Comprensión 360

CAPÍTULO V 374

5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS 375

5.1. Relación de la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica y los tiempos de absorción en los agregados 375

5.2. Análisis de correlación 432

5.3. Evaluación del impacto de los tiempos de absorción de los agregados en la densidad de las mezclas asfálticas 435

CONCLUSIONES 438

RECOMENDACIONES 440

REFERENCIAS 442

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades del cemento asfáltico según su grado de penetración 22
Tabla 2: Selección del tipo de cemento asfáltico 23
Tabla 3: Propiedades del cemento asfáltico según su grado de viscosidad 24
Tabla 4: Grados asfálticos por desempeño 25
Tabla 5: Gradación de los agregados de agregados para mezclas asfálticas en caliente 28
Tabla 6: Requerimientos del agregado grueso para mezclas asfálticas en caliente 29
Tabla 7: Requerimientos del agregado fino para mezclas asfálticas en caliente 30
Tabla 8: Requerimientos del filler para mezclas asfálticas en caliente 30
Tabla 9: Métodos de la investigación 62
Tabla 10: Operacionalización de variables 63
Tabla 11: Análisis granulométrico del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 1 68
Tabla 12: Análisis granulométrico del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 2 71
Tabla 13: Análisis granulométrico del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 3 74
Tabla 14: Análisis granulométrico del agregado fino de muestra de cantera la poderosa promedio 77
Tabla 15: Análisis granulométrico de agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 1 80
Tabla 16: Análisis granulométrico de agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 2 84
Tabla 17: Análisis granulométrico de agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 3 87
Tabla 18: Análisis granulométrico de agregado grueso de muestra de cantera la poderosa promedio 90
Tabla 19: Porcentaje de material más fino que el tamiz n°200 93
Tabla 20: Índice de plasticidad 95
Tabla 21: Partículas chatas y alargadas 98
Tabla 22: Caras fracturadas del agregado grueso (una cara fracturada) 101
Tabla 23: Caras fracturadas del agregado grueso (dos o más caras fracturadas) 104
Tabla 24: Agregado fino – Equivalente de arena 107

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 25: Abrasión máquina de los ángeles 110
Tabla 26: Peso específico y absorción del agregado fino..... 112
Tabla 27: Peso específico y absorción del agregado grueso..... 115
Tabla 28: Gravedad específica del filler..... 118
Tabla 29: Durabilidad del agregado fino en solución de sulfato de magnesio 120
Tabla 30: Durabilidad del agregado fino en solución de sulfato de magnesio 123
Tabla 31: Angularidad del agregado fino 125
Tabla 32: Azul de metileno agregado fino 128
Tabla 33: Índice de durabilidad agregado fino 131
Tabla 34: Índice de durabilidad agregado grueso 133
Tabla 35: Sales solubles agregado fino 135
Tabla 36: Sales solubles agregado grueso 137
Tabla 37: Índice de Riedel - Weber..... 139
Tabla 38: Resumen de ensayos a los agregados 140
Tabla 39: Gradación de los agregados..... 142
Tabla 40: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración 145
Tabla 41: Selección del cemento asfaltico..... 147
Tabla 42: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad..... 149
Tabla 43: Parámetros para la combinación de agregados..... 151
Tabla 44: Gradación para el cemento asfáltico clasificado por viscosidad 153
Tabla 45: Método de las áreas equivalentes 157
Tabla 46: Parámetros para el porcentaje de contenido de asfalto teórico 161
Tabla 47: Dosificación para mezclas bituminosas 163
Tabla 48: Determinación del porcentaje de asfalto teórico en mezcla..... 165
Tabla 49: Proporciones globales en peso para mezclas de agregados 166
Tabla 50: Parámetros para peso específico Bulk para 4.0% de contenido de asfalto 169
Tabla 51: Parámetros para peso específico Bulk para 4.5% de contenido de asfalto 172
Tabla 52: Parámetros para peso específico Bulk para 5.0% de contenido de asfalto 175
Tabla 53: Parámetros para peso específico Bulk para 5.5% de contenido de asfalto 178
Tabla 54: Parámetros para peso específico Bulk para 6.0% de contenido de asfalto 181
Tabla 55: Parámetros para peso específico Bulk para 6.5% de contenido de asfalto 184
Tabla 56: Especificaciones de calibración..... 186
Tabla 57: Peso de las muestras 189
Tabla 58: Ensayo Rice para 1 día de absorción 191

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 59: Ensayo Rice para 7 días de absorción 193
Tabla 60: Ensayo Rice para 15 días de absorción 195
Tabla 61: Ensayo Rice para 30 días de absorción 197
Tabla 62: Ensayo Rice para 60 días de absorción 199
Tabla 63: Ensayo Rice para 75 días de absorción 201
Tabla 64: Ensayo Rice para 90 días de absorción 203
Tabla 65: Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 1 día de absorción 205
Tabla 66: Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 7 días de absorción..... 208
Tabla 67: Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 15 días de absorción..... 211
Tabla 68: Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 30 días de absorción..... 214
Tabla 69: Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 60 días de absorción..... 217
Tabla 70: Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 75 días de absorción..... 220
Tabla 71: Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 90 días de absorción..... 223
Tabla 72: Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 1 día de absorción 226
Tabla 73: Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 7 días de absorción..... 229
Tabla 74: Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 15 días de absorción..... 232
Tabla 75: Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 30 días de absorción..... 235
Tabla 76: Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 60 días de absorción..... 238
Tabla 77: Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 75 días de absorción..... 241
Tabla 78: Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 90 días de absorción..... 244
Tabla 79: Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 1 día de absorción 247
Tabla 80: Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 7 días de absorción..... 250
Tabla 81: Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 15 días de absorción..... 253
Tabla 82: Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 30 días de absorción..... 256
Tabla 83: Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 60 días de absorción..... 259
Tabla 84: Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 75 días de absorción..... 262
Tabla 85: Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 90 días de absorción..... 265
Tabla 86: Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 1 día de absorción 268
Tabla 87: Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 7 días de absorción..... 271
Tabla 88: Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 15 días de absorción..... 274
Tabla 89: Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 30 días de absorción..... 277
Tabla 90: Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 60 días de absorción..... 280
Tabla 91: Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 75 días de absorción..... 283
Tabla 92: Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 90 días de absorción..... 286

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 93: Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 1 día de absorción 289
Tabla 94: Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 7 días de absorción..... 292
Tabla 95: Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 15 días de absorción..... 295
Tabla 96: Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 30 días de absorción..... 298
Tabla 97: Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 60 días de absorción..... 301
Tabla 98: Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 75 días de absorción..... 304
Tabla 99: Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 90 días de absorción..... 307
Tabla 100: Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 1 día de absorción 310
Tabla 101: Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 7 días de absorción..... 313
Tabla 102: Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 15 días de absorción..... 316
Tabla 103: Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 30 días de absorción..... 319
Tabla 104: Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 60 días de absorción..... 322
Tabla 105: Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 75 días de absorción..... 325
Tabla 106: Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 90 días de absorción..... 328
Tabla 107: Parámetros para 1 día de absorción 331
Tabla 108: Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 1 día de absorción..... 333
Tabla 109: Parámetros para 7 días de absorción..... 335
Tabla 110: Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 7 días de absorción 337
Tabla 111: Parámetros para 15 días de absorción..... 339
Tabla 112: Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 15 días de absorción 341
Tabla 113: Parámetros para 30 días de absorción..... 343
Tabla 114: Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 30 días de absorción 345
Tabla 115: Parámetros para 60 días de absorción..... 347
Tabla 116: Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 60 días de absorción 349
Tabla 117: Parámetros para 75 días de absorción..... 351
Tabla 118: Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 75 días de absorción 353
Tabla 119: Parámetros para 90 días de absorción..... 355
Tabla 120: Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 90 días de absorción 358
Tabla 121: Dosificación para ensayo de inmersión - compresión 360
Tabla 122: Ensayo de inmersión - compresión 1 día de absorción..... 361
Tabla 123: Ensayo de inmersión - compresión 7 días de absorción 363
Tabla 124: Ensayo de inmersión - compresión 15 días de absorción 365
Tabla 125: Ensayo de inmersión - compresión 30 días de absorción 366
Tabla 126: Ensayo de inmersión - compresión 60 días de absorción 368

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 127: Ensayo de inmersión - compresión 75 días de absorción 370
Tabla 128: Ensayo de inmersión - compresión 90 días de absorción 371
Tabla 129: Relación de VMA y contenido de asfalto para 1 día de absorción..... 382
Tabla 130: Relación de VMA y contenido de asfalto para 7 días de absorción 383
Tabla 131: Relación de VMA y contenido de asfalto para 15 días de absorción 384
Tabla 132: Relación de VMA y contenido de asfalto para 30 días de absorción 385
Tabla 133: Relación de VMA y contenido de asfalto para 60 días de absorción 386
Tabla 134: Relación de VMA y contenido de asfalto para 75 días de absorción 387
Tabla 135: Relación de VMA y contenido de asfalto para 90 días de absorción 388
Tabla 136: Relación de VFA y contenido de asfalto para 1 día de absorción..... 390
Tabla 137: Relación de VFA y contenido de asfalto para 7 días de absorción 391
Tabla 138: Relación de VFA y contenido de asfalto para 15 días de absorción 392
Tabla 139: Relación de VFA y contenido de asfalto para 30 días de absorción 393
Tabla 140: Relación de VFA y contenido de asfalto para 60 días de absorción 394
Tabla 141: Relación de VFA y contenido de asfalto para 75 días de absorción 395
Tabla 142: Relación de VFA y contenido de asfalto para 90 días de absorción 396
Tabla 143: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 1 día de absorción 397
Tabla 144: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 7 días de absorción 398
Tabla 145: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 15 días de absorción 399
Tabla 146: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 30 días de absorción 400
Tabla 147: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 60 días de absorción 401
Tabla 148: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 75 días de absorción 402
Tabla 149: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 90 días de absorción 403
Tabla 150: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 1 día de absorción..... 404
Tabla 151: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 7 días de absorción 405
Tabla 152: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 15 días de absorción..... 406
Tabla 153: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 30 días de absorción..... 407

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 154: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 60 días de absorción..... 408
Tabla 155: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 75 días de absorción..... 409
Tabla 156: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 90 días de absorción..... 410
Tabla 157: Relación de flujo y contenido de asfalto para 1 día de absorción 411
Tabla 158: Relación de flujo y contenido de asfalto para 7 días de absorción..... 412
Tabla 159: Relación de flujo y contenido de asfalto para 15 días de absorción..... 413
Tabla 160: Relación de flujo y contenido de asfalto para 30 días de absorción..... 414
Tabla 161: Relación de flujo y contenido de asfalto para 60 días de absorción..... 415
Tabla 162: Relación de flujo y contenido de asfalto para 75 días de absorción..... 416
Tabla 163: Relación de flujo y contenido de asfalto para 90 días de absorción..... 417
Tabla 164: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 1 día de absorción..... 418
Tabla 165: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 7 días de absorción ... 419
Tabla 166: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 15 días de absorción . 420
Tabla 167: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 30 días de absorción . 421
Tabla 168: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 60 días de absorción . 422
Tabla 169: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 75 días de absorción . 423
Tabla 170: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 90 días de absorción . 424
Tabla 171: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 1 día de absorción425
Tabla 172: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 7 días de absorción426
Tabla 173: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 15 días de absorción 427
Tabla 174: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 30 días de absorción 428
Tabla 175: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 60 días de absorción 429
Tabla 176: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 75 días de absorción 430
Tabla 177: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 90 días de absorción 431
Tabla 178: Relación de días absorción con la razón de esfuerzo a tensión..... 432
Tabla 179: Correlación entre días absorción con la razón de esfuerzo a tensión 433
Tabla 180: Relación de días absorción con el índice de resistencia..... 433
Tabla 181: Correlación entre días absorción con el índice de resistencia 434

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de pavimento flexible 16
Figura 2: Estructura de Pavimento Rígido 17
Figura 3: Estructura de un Pavimento Articulado 19
Figura 4: Selección de cemento asfáltico en el Perú 26
Figura 5: Parámetros de diseño volumétrico 32
Figura 6: Representación gráfica de los volúmenes de aire, asfalto y agregado en un espécimen de asfalto compactado 39
Figura 7: Componentes claves de los métodos Mecanicistas 45
Figura 8: Definición de Módulo Resiliente 47
Figura 9: Bomba de vacío para equipo de ensayo Rice 51
Figura 10: Base vibratoria y picnómetro para equipo de ensayo Rice 51
Figura 11: Preparación y mezcla de agregados y cemento asfáltico 54
Figura 12: Martillo de compactación y compactación de la mezcla asfáltica 55
Figura 13: Desmolde de especímenes en prensa hidráulica 55
Figura 14: Prensa Marshall 56
Figura 15: Ensayos a realizarse en la investigación 65
Figura 16: Curva granulométrica del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 1 70
Figura 17: Curva granulométrica del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 2 73
Figura 18: Curva granulométrica del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 3 76
Figura 19: Curva granulométrica del agregado fino de muestra de cantera la poderosa promedio 79
Figura 20: Granulometría del agregado grueso 82
Figura 21: Curva granulométrica del agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 1 83
Figura 22: Curva granulométrica del agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 2 86
Figura 23: Curva granulométrica del agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 3 89

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 24: Curva granulométrica del agregado grueso de muestra de cantera la poderosa promedio 92
Figura 25: Índice de plasticidad 97
Figura 26: Ensayo de partículas chatas y alargadas 100
Figura 27: Ensayo de equivalente de arena 108
Figura 28: Ensayo de abrasión máquina los Ángeles 111
Figura 29: Ensayo de absorción del agregado fino 113
Figura 30: Ensayo de durabilidad del agregado al suulfato de magnesio 122
Figura 31: Ensayo de angularidad del agregado fino 127
Figura 32: Ensayo de azul de metileno 129
Figura 33: Curva granulométrica de la combinación de agregados 156
Figura 34: Curva granulométrica del índice asfaltico por unidad de área superficial 160
Figura 35: Equipo Rice ensamblado 187
Figura 36: Curva de calibración 188
Figura 37: Muestras para ensayo Rice 190
Figura 38: Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 1 día de absorción332
Figura 39: Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 7 días de absorción 336
Figura 40: Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 15 días de absorción 340
Figura 41: Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 30 días de absorción 344
Figura 42: Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 60 días de absorción 348
Figura 43: Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 75 días de absorción 352
Figura 44: Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 90 días de absorción 357
Figura 45: Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 1 día de absorción 375
Figura 46: Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 7 días de absorción 376
Figura 47: Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 15 días de absorción 377

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 48: Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 30 días de absorción 378
Figura 49: Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 60 días de absorción 379
Figura 50: Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 75 días de absorción 380
Figura 51: Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 90 días de absorción 381
Figura 52: Relación de VMA y contenido de asfalto para 1 día de absorción 382
Figura 53: Relación de VMA y contenido de asfalto para 7 días de absorción 383
Figura 54: Relación de VMA y contenido de asfalto para 15 días de absorción 384
Figura 55: Relación de VMA y contenido de asfalto para 30 días de absorción 385
Figura 56: Relación de VMA y contenido de asfalto para 60 días de absorción 386
Figura 57: Relación de VMA y contenido de asfalto para 75 días de absorción 387
Figura 58: Relación de VMA y contenido de asfalto para 90 días de absorción 389
Figura 59: Relación de VFA y contenido de asfalto para 1 día de absorción..... 390
Figura 60: Relación de VFA y contenido de asfalto para 7 días de absorción 391
Figura 61: Relación de VFA y contenido de asfalto para 15 días de absorción 392
Figura 62: Relación de VFA y contenido de asfalto para 30 días de absorción 393
Figura 63: Relación de VFA y contenido de asfalto para 60 días de absorción 394
Figura 64: Relación de VFA y contenido de asfalto para 75 días de absorción 395
Figura 65: Relación de VFA y contenido de asfalto para 90 días de absorción 396
Figura 66: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 1 día de absorción 397
Figura 67: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 7 días de absorción 398
Figura 68: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 15 días de absorción 399
Figura 69: Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 30 días de absorción 400
Figura 70: Comparación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 60 días de absorción 401
Figura 71: Comparación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 75 días de absorción 402

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 72: Comparación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 90 días de absorción 403
Figura 73: Comparación de estabilidad y contenido de asfalto para 1 día de absorción... 404
Figura 74: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 7 días de absorción 405
Figura 75: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 15 días de absorción 406
Figura 76: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 30 días de absorción 407
Figura 77: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 60 días de absorción 408
Figura 78: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 75 días de absorción 409
Figura 79: Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 90 días de absorción 410
Figura 80: Relación de flujo y contenido de asfalto para 1 día de absorción 411
Figura 81: Relación de flujo y contenido de asfalto para 7 días de absorción..... 412
Figura 82: Relación de flujo y contenido de asfalto para 15 días de absorción..... 413
Figura 83: Relación de flujo y contenido de asfalto para 30 días de absorción..... 414
Figura 84: Relación de flujo y contenido de asfalto para 60 días de absorción..... 415
Figura 85: Relación de flujo y contenido de asfalto para 75 días de absorción..... 416
Figura 86: Relación de flujo y contenido de asfalto para 90 días de absorción..... 417
Figura 87: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 1 día de absorción 418
Figura 88: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 7 días de absorción..... 419
Figura 89: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 15 días de absorción... 420
Figura 90: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 30 días de absorción... 421
Figura 91: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 60 días de absorción... 422
Figura 92: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 75 días de absorción... 423
Figura 93: Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 90 días de absorción... 424
Figura 94: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 1 día de absorción 425
Figura 95: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 7 días de absorción426
Figura 96: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 15 días de absorción427
Figura 97: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 30 días de absorción428
Figura 98: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 60 días de absorción429
Figura 99: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 75 días de absorción430
Figura 100: Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 90 días de absorción 431

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tabla de gradaciones para mezclas cerradas (ASTM D3515)..... 448
Anexo 2: Carta de viscosidad del cemento asfáltico PEN 85/100 Petro Perú 449

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

La calidad y durabilidad de las mezclas asfálticas son fundamentales para la infraestructura vial, ya que los pavimentos deben soportar las cargas de tráfico y las condiciones climáticas adversas sin comprometer su integridad estructural. Uno de los factores clave que influye en el desempeño de las mezclas asfálticas es el comportamiento de los agregados, que representan una parte importante de la mezcla. La gravedad específica de los agregados es una propiedad que afecta directamente la densidad y la compactación de la mezcla, lo que a su vez influye en su resistencia y durabilidad. Por ello, entender la variación de la gravedad específica según los tiempos de absorción de los agregados es esencial para optimizar el diseño de las mezclas asfálticas.

El proceso de absorción de los agregados, que ocurre cuando los materiales absorbentes como la arena y la grava entran en contacto con el agua, afecta la cantidad de asfalto necesario en la mezcla. En este contexto, el ensayo Rice, una técnica ampliamente utilizada para determinar la gravedad específica máxima de las mezclas asfálticas, se presenta como una herramienta eficaz para evaluar la influencia de la absorción de los agregados en la densidad de la mezcla. Este ensayo, basado en la medición de la densidad de una mezcla asfáltica bajo condiciones de vacío, permite determinar la gravedad específica máxima de la mezcla, lo que es esencial para predecir su rendimiento.

En Arequipa, región que presenta un clima semiárido con variaciones significativas en las precipitaciones a lo largo del año, el comportamiento de los agregados en relación con su absorción se convierte en un factor crucial para la fabricación de mezclas asfálticas de calidad. La absorción de los agregados puede variar dependiendo de su origen, su tipo y las condiciones climáticas locales, lo que genera la necesidad de investigar cómo estos factores impactan la mezcla asfáltica en términos de su densidad y resistencia. Además, el diseño adecuado de las mezclas asfálticas puede contribuir a la reducción de costos en las obras

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

viales, ya que optimizar el uso de los agregados y el asfalto puede mejorar la eficiencia del material utilizado.

Este estudio se enfoca en analizar la variación de la gravedad específica máxima de las mezclas asfálticas en función de los tiempos de absorción de los agregados, utilizando el ensayo Rice. Se plantean objetivos específicos como determinar la relación entre la absorción de los agregados y la gravedad específica de la mezcla, así como estudiar el impacto de estos factores en la calidad y durabilidad de las mezclas asfálticas en Arequipa. Al comprender estos procesos, se podrá ajustar el diseño de las mezclas y garantizar pavimentos más resistentes y duraderos, adaptados a las condiciones climáticas locales.

El análisis de la gravedad específica de las mezclas asfálticas y su relación con la absorción de los agregados es un paso crucial para la mejora de las características mecánicas y de durabilidad de los pavimentos. El presente estudio busca ofrecer una base científica que permita mejorar el diseño de mezclas asfálticas en Arequipa y otras regiones con características climáticas similares, optimizando tanto la calidad de las mezclas como la eficiencia de los materiales utilizados en la construcción de carreteras. Además, los resultados obtenidos servirán como base para futuras investigaciones que profundicen en la relación entre las propiedades de los agregados y el comportamiento de las mezclas asfálticas.

En los siguientes capítulos, se abordarán el marco teórico, la metodología utilizada en los ensayos, la presentación y análisis de los resultados, así como las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

La infraestructura vial es una parte muy importante del patrimonio peruano, considerando su vínculo directo con el desarrollo social y económico, ya que permite la comunicación, relaciones mutuas entre los centros de población y el intercambio de bienes y servicios. Sin embargo, en el Perú actualmente, muchas vías y carreteras se encuentran deterioradas, dificultando el transporte y la economía de los departamentos afectados. Según Comex Perú (2020) las cifras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (en adelante MTC), dan a conocer que en el año 2022 solo un 16.96 % de las vías de la red departamental han sido pavimentadas. Dichos resultados son poco alentadores, principalmente para zonas de difícil acceso geográfico. Además, las vías pavimentadas existentes presentan daños superficiales y estructurales. Se estima que un 80% de las carreteras en el país se encuentran en mal estado (Aldazabal, 2019). Existen muchos factores que inciden en el deterioro de las vías y carreteras, por ejemplo: el clima y los fenómenos meteorológicos, entre ellos la lluvia, el viento y la luz solar; el número, tipo, cantidad y peso de vehículos que transitan una determinada carretera; las fallas geológicas; y la calidad de materiales utilizados en la construcción. El desgaste de pavimento es generado por diferentes Notas o distintos factores, dentro de los cuales se puede caracterizar la zona o uso que se le da a los pavimentos, los tipos de vehículos y el nivel de tráfico que puede existir en la zona (Avello, 2017).

Según la Municipalidad Provincial de Arequipa (2024), Arequipa no es ajena a esta realidad, ya que tiene cerca de dos mil quinientos metros cuadrados de pavimentación dañados en las principales calles del centro de la misma, principalmente en las avenidas Independencia y Goyeneche, tras una evaluación para identificar las zonas dañadas que dificultan el libre tránsito. La gerencia de Desarrollo Urbano de la Municipalidad Provincial de Arequipa también indicó que el principal causante de dichas fallas son las precipitaciones

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

que se presentan en los meses de diciembre a marzo de cada año, siendo el constante cambio climático un parámetro determinante en las propiedades y el tiempo de vida de los pavimentos (Mendoza y Marcos, 2018).

Por lo tanto, el correcto diseño de la mezcla asfáltica es vital para asegurar que la estructura perdure por un periodo prolongado, este es un complejo proceso de equilibrio entre la selección de un contenido adecuado de ligante asfáltico, que sea lo suficientemente alto como para proporcionar durabilidad, pero no tan alto como para provocar problemas de ahuellamiento. Cuando el ligante asfáltico se calienta durante el proceso de producción, su viscosidad se reduce considerablemente, volviéndose fluido. Los áridos absorbentes atraen el asfalto fluido hacia los poros del árido, lo que se denomina absorción asfáltica. El ligante asfáltico absorbido por los áridos no contribuye a la durabilidad de la mezcla producida. Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta adecuadamente las características de absorción de los áridos para prevenir el agrietamiento prematuro de los pavimentos de la mezcla asfáltica.

Además, no existe un método exacto o investigaciones para predecir con precisión el valor de la gravedad específica máxima relacionado a los tiempos de absorción, lo que dificulta el diseño y la aceptación de mezclas de asfalto.

1.1.1 Problema general

¿Cómo varía la gravedad específica máxima según los tiempos de absorción en los agregados para mezclas asfálticas según el ensayo de gravedad específica Rice?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los agregados para la mezcla asfáltica?
- ¿Cuál es la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica según distintos tiempos de absorción de la mezcla según el ensayo de gravedad específica Rice?
- ¿Cómo varía la absorción del agregado en función del tiempo de secado?

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- ¿Cómo afecta el tiempo de absorción a las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica?

1.2. Justificación de la investigación

1.2.1. Teórica

Se justifica teóricamente debido a que se busca aplicar diferentes ensayos estandarizados para determinar una relación e impacto que tendrían diferentes valores de absorción de los agregados en la mezcla asfáltica.

1.2.2. Práctica

Se justifica de manera práctica debido a que se muestra la alteración que podría tener la absorción de los agregados en la mezcla asfáltica por medio de la experimentación; variando los tiempos para determinar la absorción de los agregados.

1.2.3. Social

Se justifica socialmente debido a que se pretende entregar a la sociedad una mezcla asfáltica que cumpla con los estándares respecto a la posible variación e impacto que tendría un porcentaje de absorción elevado en los agregados; de tal manera que la población y usuarios puedan tener un pavimento durable.

1.2.4. Metodológica

Se justifica de manera metodológica debido a que se plantea una estrategia de obtención de diferentes valores de absorción por medio de su correspondiente tiempo; lo cual permitiría obtener una relación confiable en la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3. Objetivos de investigación

1.3.1. Objetivo general

Analizar la variación de la gravedad específica máxima según los tiempos de absorción en los agregados para mezclas asfálticas según el ensayo de gravedad específica Rice.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados para la mezcla asfáltica.
- Determinar los valores de la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica según los distintos tiempos de absorción determinados haciendo uso del ensayo Rice
- Determinar los valores de absorción del agregado en función del tiempo de secado de la mezcla asfáltica.
- Determinar la relación entre el tiempo de absorción de asfalto y las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla.

1.4. Hipótesis

Existe una variación creciente significativa de la gravedad específica teórica máxima según aumente el tiempo de absorción de asfalto por parte de los agregados en mezclas asfálticas.

1.5. Alcances

La presente investigación tiene como finalidad el análisis de la posible variación de la gravedad específica máxima de mezclas asfálticas en caliente en relación a distintos tiempos de absorción de los agregados pétreos que la conforman, para una carpeta asfáltica flexible en la ciudad de Arequipa, región de Arequipa; por lo cual, se utilizaron los agregados más comúnmente usados en la zona, siendo los provenientes de la cantera “La Poderosa”.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los agregados extraídos de la cantera "La Poderosa" cumplen con las especificaciones técnicas que demanda la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2013).

El cemento asfáltico utilizado en la presente investigación es PEN 85/100, producido por la empresa Petróleos del Perú – PETROPERÚ S.A.

Una vez realizados los ensayos de granulometría se llegó a la conclusión que había la necesidad del uso de filler, para lo cual se utilizó puzolana micronizada.

Una vez obtenidos todos los materiales necesarios para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente, se realizaron los ensayos de caracterización descritos en la norma EG 2013. La combinación de agregados resultante satisface los usos que indica la norma para mezclas asfálticas en caliente MAC-02. Posteriormente se procede a realizar el diseño de mezcla convencional y a la elaboración de briquetas para ser ensayadas con el equipo Marshall.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Jweihan (2023) en su artículo de investigación frente a la problemática de la falta de un modelo predictivo preciso para determinar la gravedad específica máxima teórica (G_{mm}) de las mezclas de asfalto desarrolló un modelo predictivo preciso para determinar la gravedad específica máxima teórica de las mezclas de asfalto utilizando la técnica de programación de expresión genética (GEP), la cual consiste en intercambiar diferentes individuos llamados cromosomas para obtener una base de datos numérica óptima de variables de entrada. El modelo busca considerar variables como el contenido de asfalto, la absorción del agregado, la gravedad específica a granel del agregado y el porcentaje de rellenos minerales para predecir con precisión el valor de G_{mm}. Como resultado, el modelo mostró una alta precisión y sensibilidad al predecir el valor de G_{mm}, con un coeficiente de determinación (R2) de 1.000 y un bajo coeficiente de variación (COV) de 0.479; y también demostró ser aplicable tanto para mezclas de asfalto con agregados absorbentes como no absorbentes.

Mohammed y Mohamad (2021) en su artículo de investigación identificaron como problemática que la industria de la construcción genera residuos excesivos que idealmente deben reciclarse y reutilizarse. Los materiales de construcción que se utilizan actualmente en la ingeniería civil pueden tener aplicaciones como reciclados para parcial o total sustitución de agregados naturales, como agregados obtenidos a partir de hormigón triturado y compuestos a partir de morteros y áridos naturales. Los objetivos del estudio son medir la capacidad de absorción de los áridos reciclados y compararla con la capacidad de absorción de los áridos naturales para demostrar la trabajabilidad cuando se utiliza para la construcción de carreteras y evaluar las propiedades del pavimento preparado con agregado 100% reciclado. Se analizó la absorción de agua de los áridos obteniendo resultados que son

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

estrechamente alineados con el tiempo; depende de todo el período de absorción y el cambio se volvió constante cuando la saturación de la muestra completamente fue superior a 24 h.

Malca & Quispe (2023) en su tesis de grado realizaron diseños experimentales de mezclas asfálticas comparando mezclas convencionales y mezclas con distintos porcentajes de reemplazo de agregado fino por caucho (0.5%; 1.5%; 2.5%) haciendo uso del ensayo Rice (ASTM D2041) para determinar la gravedad específica teórica máxima (Gmm) para el cálculo de vacíos y parámetros volumétricos permitiendo la comparación del comportamiento de cada tipo de mezcla con y sin caucho. Obtuvieron como resultado de porcentaje de vacíos 4.82%, vacíos con porcentaje de agregado mineral de 18.14% (V.A.M), porcentaje con vacíos llenos de asfalto de 75.34% (V.LL.C.A) relación polvo-asfalto de 3.71%, flujo de 13.78 mm, resistencia a la deformación(estabilidad) de 11.11 KN, una relación de estabilidad y flujo de 3235.76 kg/cm; lo cual confirmó la hipótesis planteada, que el reemplazo de porcentajes de caucho reciclado en mezclas asfálticas mejorará la resistencia a la deformación de la carpeta asfáltica en al menos un 10%.

Bareño et al. (2021) en su trabajo de investigación realizaron el diseño mecánico, construcción y calibración del aparato Micro Deval siguiendo los lineamientos en la especificación del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) 238 del 2013. Para dicha finalidad desarrollaron ensayos sobre dos fracciones de agregados grueso con el objetivo de determinar el porcentaje de degradación en condiciones secas y húmedas. Además, analizaron los tiempos de 15, 30, 45, 60 y 120 minutos utilizados para la degradación del agregado en el equipo y su incidencia en las características físicas de los agregados, tales como: índice de alargamiento, índice de aplanamiento, caras fracturadas, gravedad especifica real, aparente y porcentaje de absorción; llegando a la conclusión de que existe una incidencia de las características físicas de los agregados en función del tiempo de degradación utilizado en el aparato Micro Deval.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Silva et al. (2019) realizaron el análisis de la influencia de diferentes metodologías para la determinación de la gravedad específica máxima del método de dosificación SUPERPAVE de mezclas asfálticas en caliente. Con los resultados obtenidos en la investigación no encontraron diferencias significativas en los contenidos de ligante del proyecto obtenidos por medio de las dos metodologías de determinación de la gravedad específica máxima, con respecto a los diferentes valores de gravedad específica máxima determinadas según cada uno de los diferentes métodos utilizados. Es decir, la adopción de cualquiera de los métodos interfirió poco en la dosificación del método Superpave para la mezcla asfáltica planteada, lo que corresponde a una ventaja del método trabajado en investigaciones similares basadas en el método Marshall.

Chalco & Muñoz (2021) en su trabajo de investigación de grado evaluaron el desempeño de la cal hidratada, cemento, puzolana y polvo de la arena pasante de la malla N°200 como material de relleno en mezclas asfálticas en caliente frente al daño por humedad, además adicionaron aditivo mejorador de adherencia a las mezclas para compararlas entre sí teniendo como finalidad proponer alternativas de pavimentos asfálticos que resulten más resistentes al agua. En la investigación realizaron el diseño de las mezclas asfálticas con cada tipo de filler usando el método Marshall, hallando el contenido óptimo de asfalto de cada una; también hicieron uso del método de ensayo Rice (ASTM D2041) para determinar los valores de la gravedad específica máxima de cada diseño de mezcla. Los resultados mostraron el desempeño de cada tipo de filler como mejoradores de adherencia y su influencia en la construcción de pavimentos más resistentes a la acción del agua.

Barreno & Valarezo (2025) en su trabajo de investigación de grado realizaron un estudio comparativo del efecto que provocan los aditivos en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente. Para dicho fin analizaron datos de 4 proyectos de investigación previos realizados en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Central

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

del Ecuador, en las que se modificaron mezclas asfálticas adicionando polímeros RET, SBS, SBR, alofán puro y organosilanos. Como uno de los parámetros de comparación se midieron las propiedades volumétricas de la mezcla, entre ellas la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica suelta mediante el ensayo Rice obteniendo valores entre 2.395 y 2.323 para los distintos porcentajes de contenido de asfalto. Realizaron el análisis comparativo de las diferentes mezclas asfálticas modificadas, respecto a propiedades como el módulo de rigidez, tracción indirecta, estabilidad y flujo. Una vez realizado el análisis comparativo, escogieron el aditivo que mejores propiedades desempeñó en la mezcla asfáltica, para realizar la caracterización de una nueva mezcla asfáltica en caliente y así comprobar su desempeño con la verificación de la influencia del agregado y el aditivo seleccionado en sus propiedades, determinando que aditivo es el mejor.

Jácome & Paz (2021) en su trabajo de investigación de grado hacen uso de residuos de acero en mezclas asfálticas en tibio buscando complementar la base de datos referente al uso de aditivos, al igual que la implementación de escoria de alto horno para mejorar el rendimiento y resistencia de la mezcla asfáltica, con la finalidad de evaluar resultados comparando la eficiencia y el potencial del uso de estos componentes en mezclas asfálticas según su compatibilidad con los agregados de las diferentes minas de extracción. En la etapa del diseño de mezcla hicieron uso del método de ensayo Rice para la determinación de la gravedad específica máxima teórica de las mezclas sin compactar; valores que ayudarán a determinar el porcentaje de vacíos de las mezclas, concluyendo que al hacer uso del aditivo Zycotherm la cantidad de vacíos disminuye considerablemente; y, por lo tanto, mejorando el desempeño y resistencia de la mezcla.

Boza y Ríos (2022) en su tesis de grado analizaron la granulometría de los agregados y su influencia en las mezclas asfálticas. Para dicho fin hicieron uso de la metodología Marshall para la comparación de las propiedades físicas, volumétricas y mecánicas. La granulometría empleada fue la convencional, MAC-02, dando una propuesta de mejora con la granulometría Superpave. Llegaron a la conclusión de que la granulometría superpave

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

influye en la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente; además, no tiene una influencia significativa en el flujo de dichas mezclas; sin embargo, influye en la relación estabilidad – flujo en comparación con la granulometría MAC-02.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Concepto de pavimento

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, de materiales apropiados y adecuadamente compactados, comprendidos entre el nivel inferior, también llamado subrasante, y la superficie de rodamiento, cuya función es proporcionar una superficie de rodadura uniforme resistente a las cargas continuas del tránsito y de las condiciones climáticas durante el periodo para el que fue diseñado (Montejo, 2002).

La organización de los Estados Americanos, a través de su organismo técnico denominado Congreso Panamericano de Carreteras define a un pavimento como una superestructura construida sobre la subrasante y compuesta normalmente por 3 partes, que son la subbase, la base y la capa de rodamiento. Esta definición es orientada hacia el ingeniero o técnico que se relaciona con esta área, por esta razón se le llama “definición estructural”. Pero también se puede optar por una definición funcional que se refiere a un pavimento como la parte superior de una carretera, pista de aterrizaje o estacionamiento, cuyo principal objetivo es servir al tráfico de una manera eficiente, permanente y económica” (Corredor, 2006).

2.2.1.1. Clasificación de los pavimentos.

Se puede clasificar los pavimentos de la siguiente manera: pavimentos flexibles, pavimentos semirrígidos o semiflexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados (Montejo, 2002).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.1.1.1. Pavimentos flexibles.

Según Montejo (2002) están conformados por una carpeta de desgaste bituminosa apoyada sobre la base y la subbase, que son capas no rígidas, apoyándose sobre la subrasante compactada. Sin embargo, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades de la obra.

Funciones de las capas de un pavimento flexible:

- **Subbase Granular**

Una de sus principales funciones es netamente económica, ya que, a pesar de que el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, necesita materiales de alta calidad; es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar la capa con materiales de menor costo en la parte inferior.

Una subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los materiales de la subrasante, actuando como un filtro que impide que los finos de la subrasante la contaminen.

La subbase es la capa que tiene como finalidad soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de tránsito a través de las capas superiores y transmitidos a un nivel adecuado a la subrasante.

- **Base Granular**

Su función principal es la de proporcionar un elemento resistente capaz de transmitir de manera adecuada los esfuerzos producidos por la carga vehicular hacia la sub-base y la subrasante.

- **Carpeta Asfáltica**

Tiene como función proporcionar una superficie de rodadura estable y uniforme, de textura y color conveniente, siendo capaz de resistir los efectos abrasivos de la carga

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

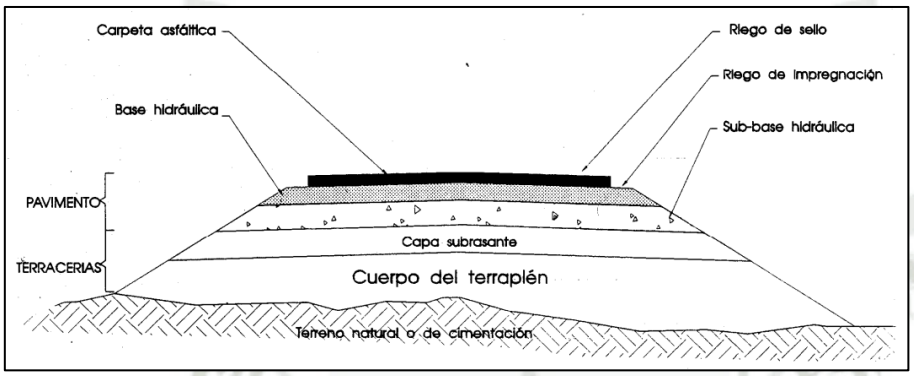
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

vehicular. También, en lo posible, debe impedir la penetración del agua al interior del pavimento. Además, su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

Figura 1

Estructura de pavimento flexible



Nota: Zelada (2019).

2.2.1.1.2. Pavimentos rígidos.

Según Montejo (2002) son aquellos pavimentos constituidos por una losa de concreto hidráulico apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido al elevado coeficiente de elasticidad del concreto hidráulico y de su rigidez, la distribución de esfuerzos puede producirse en una zona bastante amplia.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas, es por esto que el apoyo de las capas subyacentes es de mínima influencia en el diseño del espesor del pavimento.

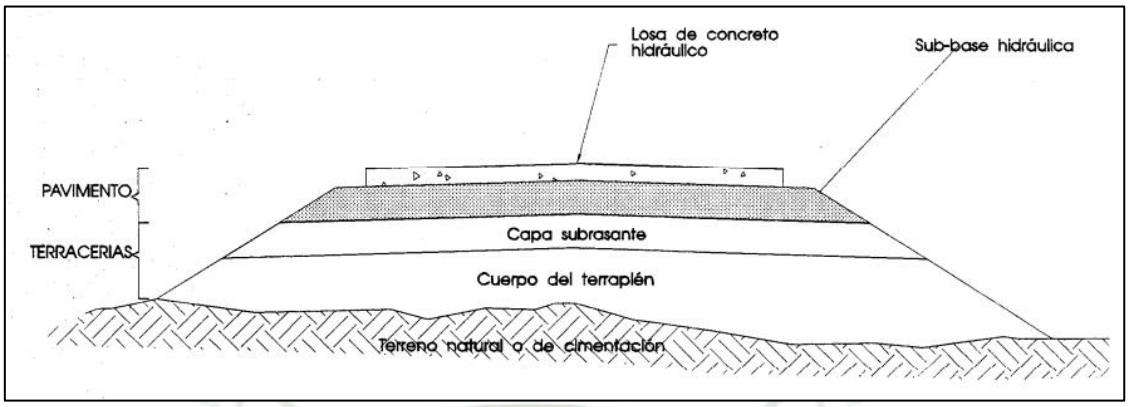
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 2

Estructura de Pavimento Rígido



Nota: Zelada Rojas (2019)

Funciones de las capas de un pavimento rígido:

- **Subbase**

Su principal función es la de impedir la acción del bombeo en las grietas, extremos del pavimento y las juntas. Mejora el drenaje y minimiza la acumulación de agua bajo el pavimento. También sirve como capa de transición y suministra un apoyo estable y permanente al pavimento.

- **Losa de Concreto**

Las funciones de la losa de concreto en un pavimento rígido son análogas a las de la carpeta asfáltica en un pavimento flexible, agregando la función estructural que consiste en transmitir en nivel adecuado los esfuerzos de la carga vehicular aplicados.

2.2.1.1.3. Pavimentos Semirrígidos.

Los pavimentos semirrígidos se definen como una estructura compuesta por una capa asfáltica y bases tratadas con asfalto, cemento y cal. Presenta una estructura que se asemeja a la de un pavimento flexible, con la diferencia que una de sus capas se encuentra rígida de manera artificial debido al uso de algún aditivo que puede ser cal, emulsión, cemento o químicos; los cuales pueden aumentar la capacidad portante del suelo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.1.1.4. Pavimentos articulados.

Los pavimentos articulados están constituidos por una capa de rodadura elaborada con bloques de concreto prefabricados llamados adoquines, estos tienen un espesor uniforme y son iguales entre sí. Los adoquines van apoyados sobre una capa delgada de arena que se encuentra sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante.

Funciones de las capas de un pavimento articulado:

- **Base**

Es la capa que se encuentra entre la subrasante y la superficie de rodadura. Tiene la función de dar mayor espesor y, por lo tanto, capacidad estructural al pavimento. Puede componerse de dos o más capas de materiales seleccionados.

- **Capa de Arena**

Es una capa delgada compuesta por arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base. Sirve como asiento a los adoquines y de filtro para el agua que pueda penetrar por las juntas.

- **Adoquines**

Bloques de concreto que deben contar con una resistencia adecuada para soportar las cargas de tránsito y el desgaste que este produce.

- **Sello de Arena**

Está constituido por arena fina colocada a manera de sellante en las juntas entre los adoquines, sirviendo como sello para las mismas y contribuyendo al funcionamiento como conjunto de los elementos de la capa de rodadura.

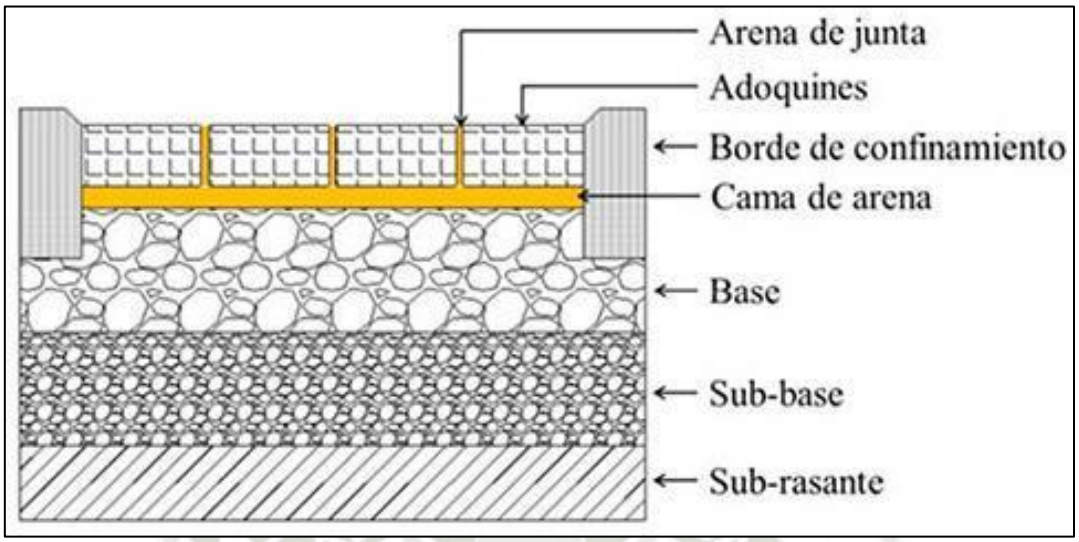
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 3

Estructura de un Pavimento Articulado



Nota: Lozada Moya (2018).

2.2.2. Mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas, también denominadas aglomerados, están constituidas por la combinación de agregados pétreos en un porcentaje del 90% aproximadamente, ligante asfáltico de hidrocarbonato en un porcentaje del 5% y polvo mineral (filler) en un porcentaje del 5%. Estas mezclas son fabricadas en centrales fijas o móviles, transportadas posteriormente a la obra, en donde se extienden y se compactan (Ortegon y Villabon, 2018).

2.2.2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas.

2.2.2.1.1. Mezclas asfálticas en caliente.

Las mezclas asfálticas en caliente constituyen el tipo más utilizado de mezcla asfáltica tanto para carreteras como para vías urbanas y aeropuertos. Se definen como la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados y aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Para fabricar estas mezclas se necesita calentar el ligante y los agregados, exceptuando el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

polvo mineral de aportación, y su puesta en obra se realiza a una temperatura superior a la temperatura ambiente (Ortegon y Villabon, 2018).

2.2.2.1.2. Mezclas asfálticas en tibio.

Este tipo de mezclas garantiza la elaboración y puesta en obra a menores temperaturas, generalmente entre 30° C Y 50° C por debajo de las empeladas para mezclas asfálticas en caliente, y ligeramente por encima de los 100°C, utilizándose las mismas dosificaciones que en una mezcla asfáltica en caliente, al igual que las mismas plantas de mezclado existentes, y con propiedades mecánicas similares a la de una mezcla asfáltica en caliente (Ortegon y Villabon, 2018).

2.2.2.1.3. Mezclas asfálticas en frío.

Estas mezclas se fabrican con emulsiones asfálticas, y su principal aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Se caracterizan por su trabajabilidad después de la fabricación, incluso durante semanas, lo que se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja ya que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado. Existen mezclas en frío que se fabrican con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo .de fluidificante, pero es poco usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión (Ortegon y Villabon, 2018).

2.2.2.2. Componentes de las mezclas asfálticas.

2.2.2.2.1. Cemento asfáltico.

El cemento asfáltico es un ligante denso que a se encuentra en estado semisólido a temperatura ambiente. Se obtienen del proceso de refinación por destilación al vapor del crudo de petróleo. Presentan un comportamiento termoplástico que cuando se calienta se torna líquido y cuando se enfría vuelve a su estado original.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.2.2.2. Propiedades físicas del cemento asfáltico.

Según Ponce & Villa (2020) las propiedades físicas más importantes del cemento asfaltico son su durabilidad, que se define como el tiempo en que este mantendrá sus características originales pese al proceso de envejecimiento y degradación natural; la susceptibilidad a la temperatura, puesto que el asfalto debe ser fluido en temperaturas altas; la adhesión, que se define como la capacidad de adherencia que tiene el cemento asfáltico con los agregados que conforman la mezcla asfáltica. (Ponce & Villa, 2020)

El cemento asfaltico es también un material impermeable que no recibe daños por acción de sales, ácidos o álcalis; lo que quiere decir que un pavimento correctamente construido será impermeable y resistente a daños químicos, a excepción de la oxidación, la cual es una reacción química que debilita al asfalto volviéndolo frágil ya que la carpeta se endurece excesivamente, en especial a altas temperaturas, esta se puede presentar a varios años a partir de la finalización de construcción del pavimento. (Ponce & Villa, 2020)

2.2.2.2.3. Clasificación por penetración.

Según el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones EG 2013, el ensayo de penetración se realiza para clasificar asfaltos. Los ensayos de penetración y punto de ablandamiento son de origen empírico.

La clasificación se describe en la tabla 1

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 1

Propiedades del cemento asfáltico según su grado de penetración

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40 - 50		PEN 60 - 70		PEN 85 - 100		PEN 120 - 150		PEN 200 - 300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el material bituminoso											
Penetración a 25°C, 100g, 5 s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en tricloro-etileno %	MTC E 302	99		99		99		99		99	
Índice de penetración (Susceptibilidad térmica)	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de mancha (Oliensies)											
Solvente Nafta - estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	Negativo		
Solvente nafta - xileno, % xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	Negativo		
Solvente heptano - xileno, % xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
Pruebas sobre la película delgada a 163°C, 3.2 mm, 5 h											
Pérdida de mas %	ASTM D 1754		0.8		0.8		1		1.3		1.5
Penetración retenida después del ensayo de película fina %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306			50		75		100		100	

Nota: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones EG 2013 indica que el tipo de cemento asfáltico a utilizarse debe ser elegido en función a la temperatura media anual, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2

Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura media anual			
24°C o más	**24°C - 15°C**	**15°C - 5°C**	**Menos de 5°C**
40 - 50 ó 60 - 70 o modificado	60 - 70	85 - 100 120 - 150	Asfalto modificado

Nota: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

2.2.2.2.4. Clasificación por viscosidad.

Esta clasificación se publicó en el año 1960 en la norma ASTMD 3381 "Especificación estándar para la clasificación de cementos asfálticos por viscosidad para su uso en la construcción de pavimentos" por la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials o ASTM International); la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) por sus siglas en inglés).

La clasificación se describe en la tabla 3

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 3

Propiedades del cemento asfáltico según su grado de viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC - 2.5	**AC - 5**	**AC - 10**	**AC - 20**	**AC -40**
Viscosidad absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	4000±800
Viscosidad cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100 g, 5s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
- Viscosidad absoluta, 60°C Poises máximo	1250	2500	5000	10000	20000
- Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la mancha (Oliensies)					
Solvente nafta - Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente nafta - Xileno, % xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente heptano - xileno, %xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Nota: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.2.2.5. Clasificación SUPERPAVE (PG grado de performance de asfalto).

Según AASHTO PP6: Practice for Grading or Verifying the Performance Grade of an Asphalt Binder, se define para los cementos asfálticos una nueva clasificación en función al grado de desempeño, denominada PG (performance grading) como se detalla en la tabla 4.

Su finalidad es establecer un rango de temperaturas dentro del cual el cemento asfáltico puede desempeñarse adecuadamente.

Tabla 4

Grados asfálticos por desempeño

	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
PG	46	34; 46; 52
PG	52	10; 16; 22; 28; 34; 40; 46
PG	58	16; 22: 28; 34; 40
PG	64	10; 16; 22; 28; 34; 40
PG	70	10; 16; 22; 28; 34; 40
PG	76	10; 16; 22; 28; 34
PG	82	10; 16; 22; 28; 34

Nota: AASHTO M320

En la elaboración de un diseño, se selecciona el grado de comportamiento teniendo en cuenta la región geográfica y el promedio de temperatura a la cual se encontrará sometido el asfalto, por lo que es necesario el uso de bases de datos de registros históricos de estaciones climáticas con antigüedad de 20 años como mínimo.

En la figura se muestra una referencia de la elección de cementos asfálticos para cada región en función de su temperatura promedio.

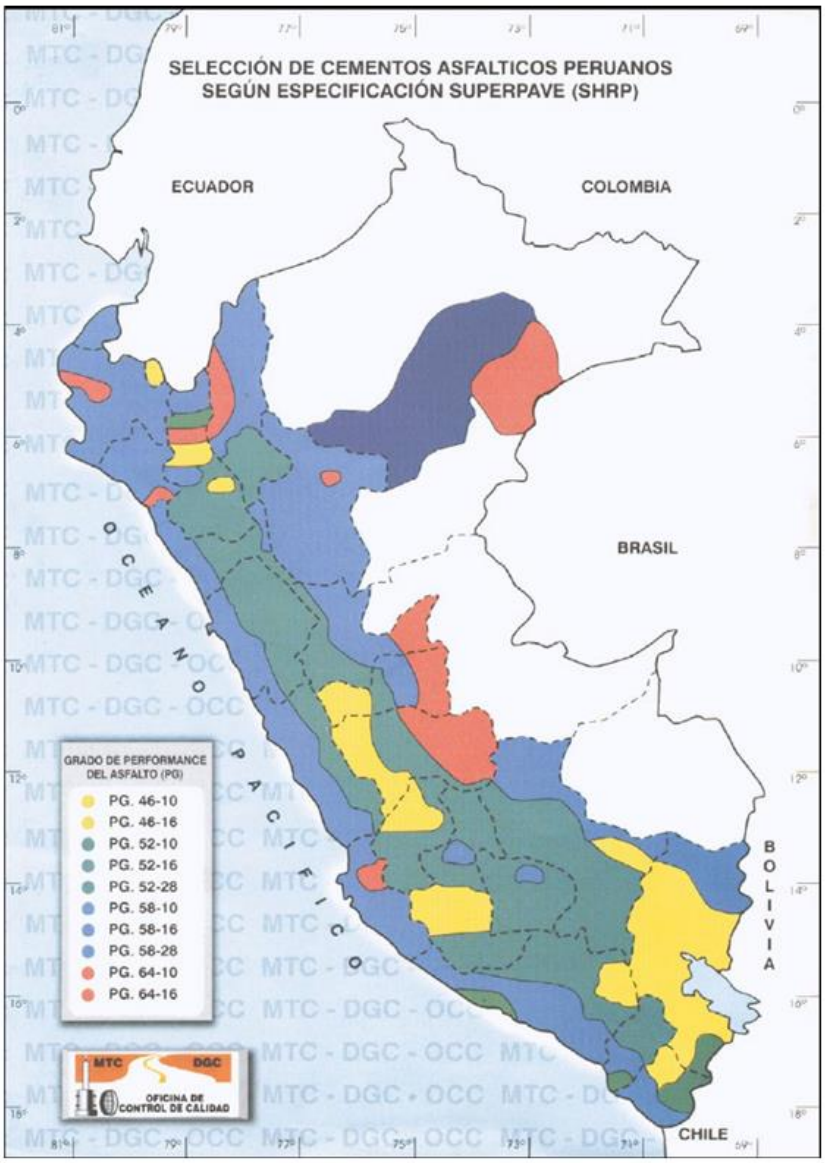
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 4

Selección de cemento asfáltico en el Perú



Nota: Dirección de estudios especiales - dirección general de ferrocarriles y caminos, MTC

2.2.3. Agregados

De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), los agregados se clasifican por tamaños en: gravas, que consisten en partículas entre 76 mm y 4,76 mm de diámetro; arenas con diámetros entre 4,76 mm 0,074 mm y finos con diámetros menores a 0,074 mm.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Dependiendo del tipo de mezcla asfáltica a diseñar, se establece una granulometría de agregados que sea conveniente. Las gravas y arenas son las principales responsables del desarrollo de resistencia friccional de la mezcla asfáltica, mientras que los finos tienen el papel de proveer manejabilidad y coherencia al relacionarse con los ligantes asfálticos. (Aceros, 2022)

Con la finalidad de obtener un desempeño óptimo en las mezclas asfálticas, los distintos métodos de diseño; ya sean los tradicionales que se basan en la proporción de pesos, como la metodología Superpave, que es un método volumétrico; buscan establecer las principales propiedades de los agregados pétreos que influyen en el comportamiento final de las mezclas diseñadas. (Aceros, 2022)

Para poder determinar los parámetros físicos y mecánicos de los agregados a usar en mezclas asfálticas existen procedimientos de ensayo previamente establecidos; de la misma manera existen especificaciones y valores óptimos que sirven como puntos de control y requerimientos de calidad. Estas propiedades de caracterización se encuentran descritas en el manual de diseño de carreteras del MTC EG 2013.

El desempeño las mezclas asfálticas en caliente es altamente influenciado por los agregados. La fuerza cortante de los agregados es esencial porque su papel es proveer principalmente resistencia al ahuellamiento. Dicha fuerza cortante depende de la relación entre las partículas de los agregados; por ejemplo, los agregados angulares y rugosos generan mayor resistencia que las partículas redondeadas y lisas. (Chalco & Muñoz, 2021)

La gradación de una mezcla asfáltica en caliente deberá responder a los husos de granulometría que se describen en la tabla 5.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 5

Gradación de los agregados de agregados para mezclas asfálticas en caliente

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA		
	MAC -1	MAC -2	MAC - 3
25.0 mm (1")	100		
19.0 mm (3/4")	80 - 100	100	
12.5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	
9.5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4.75 mm (N°4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2.00 mm (N°10)	29 - 45	38 - 52	43 -61
425 µm (N°40)	14 - 25	17 -28	16 - 29
180 µm (N°80)	8 -17	8 -17	9 - 19
75 µm (N°200)	4 - 8	4 - 8	5 - 10

Nota: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

Los agregados, por el tamaño de sus partículas, se dividen en: agregado grueso y agregado fino.

2.2.3.1. Agregado grueso.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), el agregado grueso se define como la porción de material retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm) proveniente em lo general de la trituración de gravas, piedras o de su combinación. No debe contener fragmentos alargados y planos en un porcentaje mayor al 5% de su peso; de la misma manera, también debe estar libre de polvo y terrones de arcilla o tierra que dificulten su adherencia con el asfalto.

La norma EG 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones describe las especificaciones y requerimientos mínimos para el agregado grueso en mezclas asfálticas, como se describe en la tabla 6.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 6

Requerimientos del agregado grueso para mezclas asfálticas en caliente

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35%máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 223	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	1.0%máx	1.0% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95

Nota: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

2.2.3.2. Agregado fino

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), se define como agregado fino a la porción de material que se encuentra comprendida entre los tamices N°4 (4.74 mm) y N°200 (75 µm), proveniente de la trituración de piedra, grava, escoria, o generalmente puede ser arena natural.

La norma EG 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones describe las especificaciones y requerimientos mínimos para el agregado fino en mezclas asfálticas, como se describe en la tabla 7.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 7

Requerimientos del agregado fino para mezclas asfálticas en caliente

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Equivalente de arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	-	18% máx
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Malla N°200	MTC E 137	4 máx.	NP
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Nota: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

2.2.3.3. Filler

Según la ASTM D 242, el filler o rellenador consta de material fino o pasante del tamiz N°200 (75 µm). Debe cumplir como requisito que un mínimo de 70% de su peso pase por dicho tamiz. Proviene de la trituración de agregados pétreos; también puede ser conformado por materiales comerciales como cemento portland o cal apagada. Se adiciona en las mezclas asfálticas con la finalidad de cumplir con los requerimientos de granulometría especificados.

La norma ASTM D242 describe los requerimientos físicos para el filler en mezclas asfálticas, como se describe en la tabla 8.

Tabla 8

Requerimientos del filler para mezclas asfálticas en caliente

TAMIZ		% pasante
N°16	1.18 mm	100
N°30	600 µm	97 – 100
N°50	300 µm	95 – 100
N°200	75 µm	70 - 100

Nota: ASTM D 242 (2014)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.4. Propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas tienen como finalidad soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando condiciones adecuadas de rodadura, cuando son empleadas en capas superficiales; y como material con resistencia estructural o mecánica en las demás capas de la estructura del pavimento. El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas, tales como el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Actualmente la reología de las mezclas está bien estudiada tanto de manera experimental como teórica, con una consecuencia práctica inmediata: la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento (Padilla, 2004).

Un factor a tomar en cuenta al momento de diseñar mezclas asfálticas es el de las proporciones volumétricas del asfalto y de los componentes del agregado; es decir, parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica.

Las propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas son: vacíos de aire (Va); vacíos en el agregado mineral (VMA); vacíos llenados con asfalto (VFA), y contenido de asfalto efectivo (Pbe); las cuales proporcionan una indicación del probable funcionamiento de la mezcla asfáltica. (Padilla, 2004)

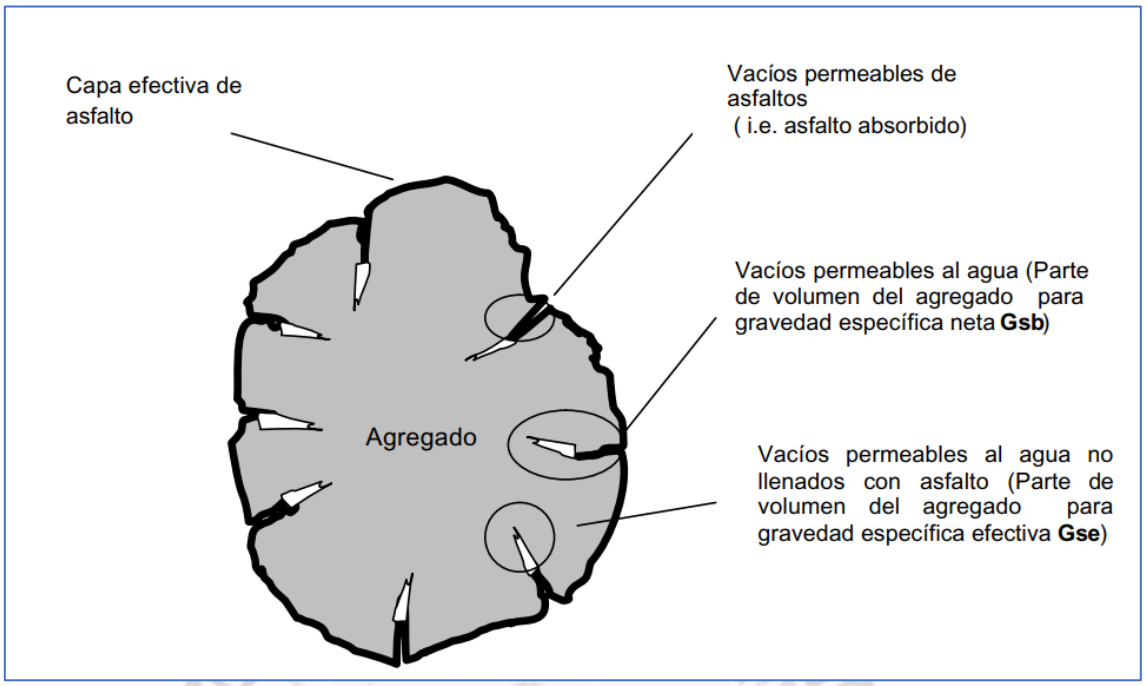
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 5

Parámetros de diseño volumétrico



Nota: (Padilla, 2004)

Los agregados minerales tienden a ser porosos y capaces de absorber agua y asfalto en cantidades variables; y, además, el cociente de absorción entre asfalto y agua puede variar en cada tipo de agregado. Dichas variaciones son tomadas en consideración por los tres métodos para determinar la gravedad específica del agregado, los cuales son:

2.2.4.1. Gravedad específica Bulk de la mezcla (G_{mb}).

En la Norma E-734 de INVIAS (2013), se define como la relación entre la masa del volumen de un material a una determinada temperatura, usualmente 25° C, para mezclas asfálticas; y la masa de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura que se encuentre libre de gas (INVIAS, 2013).

La densidad Bulk se define como la masa de un material determinado por metro cúbico a 25° C para mezclas asfálticas. Al ser la gravedad específica un valor adimensional, es necesario convertirla a densidad para fines de cálculos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ecuación 1

Gravedad específica Bulk

$$G_{mb} = \frac{A}{B - C}$$

$$G_{mb} = \frac{masa\ del\ asfalto\ y\ agregado}{volumen\ del\ asfalto, agregado\ y\ aire} = \frac{M_t}{V_{mb}}$$

Donde:

A = peso seco al aire de un espécimen en gramos

B = peso al aire de un espécimen de superficie seca en gramos

C = peso en agua de un espécimen en gramos

M_t = masa del asfalto y agregado

V_{mb} = volumen del asfalto, agregado y aire

2.2.4.2. Peso específico de la combinación de agregados (G_{sb}).

La combinación de agregados para las mezclas asfálticas se realiza con distintos materiales (agregado grueso, agregado fino, filler), por lo tanto, cada uno tiene un peso específico diferente. Para determinar el peso específico de la combinación de agregados se emplea la ecuación 2.

Ecuación 2

Peso específico Bulk para la combinación de agregados

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \cdots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \cdots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

$P_1, P_2, \ldots, P_n$ = porcentajes individuales por peso del agregado

$G_1, G_2, \ldots, G_n$ = gravedad específica Bulk individual del agregado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.4.3. Gravedad específica efectiva de los agregados.

La gravedad específica de los agregados (G_{se}) incluye todos los espacios de vacíos en sus partículas, excepto aquellas que absorben el asfalto, por lo tanto, se determina haciendo uso de la ecuación 3.

Ecuación 3

Gravedad específica efectiva de los agregados

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{se}= gravedad específica efectiva del agregado

G_{mm}= gravedad específica máxima de ls mezcla de pavimento sin vacíos de aire

P_{mm}= porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100

P_b= contenido de asfalto con el cual se desarrolló el ensayo; porcentaje total de la masa de la mezcla

G_b= gravedad específica del asfalto

El volumen de asfalto que absorben los agregados es menor que el volumen que absorben de agua; es así que el valor de la gravedad específica efectiva de los agregados se encuentra entre los valores de su gravedad específica neta y su gravedad específica aparente. (Garnica, et al., 2004)

2.2.4.4. Densidad máxima teórica o gravedad específica máxima de la mezcla (G_{mm}).

Se define como la relación de peso entre volumen $\left(\frac{t}{m^3}\ o\ \frac{kg}{m^3}\right)$ de la mezcla asfáltica determinada mediante ensayos de laboratorio, considerando una condición de máxima de compactación (100%) o, dicho de otra manera, 0% de vacíos (Solorzano, et. al, 2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Este valor es crucial para garantizar que la mezcla asfáltica tenga la resistencia y durabilidad necesarias para soportar las cargas de tráfico y las condiciones ambientales a lo largo del tiempo.

La fórmula para calcular la gravedad específica teórica máxima se muestra en la ecuación 4

Ecuación 4

Densidad máxima teórica o gravedad específica máxima

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima (AASHTO T209)

P_{mm} = Porcentaje en peso del total de la mezcla suelta

P_s = Porcentaje del agregado combinado de la masa total de la mezcla

P_b = Porcentaje ende asfalto de la masa total de la mezcla

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado

G_b = Gravedad específica del asfalto

Para medir la densidad teórica máxima en este trabajo de investigación se utilizará el ensayo RICE, siguiendo las normas ASTM D 2041 (2011) y AASHTO T 209 (2020), las cuales determinan la gravedad y densidad teórica máxima de las mezclas asfálticas no compactadas a una temperatura de 25°C.

2.2.4.5. Contenido de asfalto.

La determinación del contenido de asfalto puede realizarse en función de la masa o del volumen. Cuando se evalúa volumétricamente, el contenido de asfalto se expresa como el porcentaje del volumen de ligante respecto al volumen total de la mezcla asfáltica compactada. Se muestra en la ecuación 5.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ecuación 5

Contenido de asfalto

$$P_b = 100\left(\frac{M_b}{M_s + M_b}\right)$$

Donde:

P_b = Porcentaje de asfalto de la masa total de mezcla

M_b = Masa de asfalto del espécimen

M_s = Masa del agregado en el espécimen

2.2.4.6. Asfalto absorbido (P_{ba}).

Se define como la masa de asfalto que es absorbida por los agregados y es expresado como un porcentaje de la masa del agregado.

En la ecuación 6 se describe la fórmula para calcular el porcentaje de asfalto absorbido.

Ecuación 6

Porcentaje de asfalto absorbido

$$P_{ba} = 100\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb}G_{se}}G_{sb}$$

Donde:

P_{ba} = Porcentaje de asfalto absorbido

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado

G_{sb} = Gravedad específica bulk de los agregados combinados

2.2.4.7. Asfalto efectivo (P_{be}).

El porcentaje de asfalto efectivo se define como la masa de asfalto que no es absorbido por los agregados de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ecuación 7

Porcentaje de asfalto efectivo

$$P_{be} = P_b - \left(\frac{P_{ba}}{100}\right) P_s$$

Donde:

P_b = Porcentaje de asfalto de la masa total de la mezcla

P_{ba} = Porcentaje de asfalto absorbido

P_s = Porcentaje del agregado combinado de la masa total de la mezcla

2.2.4.8. Porcentaje de vacíos de los agregados (VMA).

Se define como el volumen total de los espacios vacíos dentro de los agregados de una mezcla asfáltica compactada, los cuales se saturan parcialmente con cemento asfáltico efectivo y parcialmente con aire, y se expresa como un porcentaje respecto al volumen total de la mezcla asfáltica.

Ecuación 8

Porcentaje de vacíos de los agregados en la mezcla asfáltica

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}}$$

Donde:

G_{sb} = Gravedad específica bulk de los agregados combinados

G_{mb} = Gravedad específica de la mezcla compactada

P_s = Porcentaje del agregado total combinado de la masa total de la mezcla

2.2.4.9. Porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA).

Se define como el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado que contienen o son rellenados con asfalto efectivo.

Mediante el porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) se puede garantizar que la película de asfalto en la mezcla tenga el espesor adecuado; ya que, si este es muy bajo la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mezcla tendrá poca durabilidad; y, por el contrario, si es muy alto la mezcla puede resultar blanda y causar exudación. (Asphalt Mix Design Methods, 2014)

El porcentaje de vacíos llenado con asfalto se calcula haciendo uso de la ecuación 9.

Ecuación 9

Porcentaje de vacíos llenados con asfalto

$$VFA = \frac{100(VMA - V_a)}{VMA}$$

Donde:

VMA = Porcentaje de vacíos de los agregados en la mezcla asfáltica

V_a = Porcentaje de vacíos de la mezcla total compactada

2.2.4.10. Vacíos de la mezcla total compactada (Va).

Los vacíos de aire representan el conjunto de espacios de la mezcla llenos de aire entre las partículas de agregado recubiertas con asfalto.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. La durabilidad de un pavimento asfáltico depende del contenido de vacíos de aire del pavimento in situ. Cuanto menor sea el contenido de vacíos, menos permeable será la mezcla. Si el contenido de vacíos es demasiado alto, se crean pasajes a través de la mezcla que permiten la entrada de aire y agua que resultan perjudiciales para la estructura. Por el contrario, un contenido de vacíos de aire demasiado bajo puede provocar la formación de surcos, descargas o exudaciones. (Asphalt Mix Design Methods, 2014)

La fórmula para determinar el porcentaje de vacíos de la mezcla total compactada se muestra en la ecuación 10.

Ecuación 10

Porcentaje de vacíos de aire de la mezcla total compactada

$$V_a = 100\left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}\right)$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima

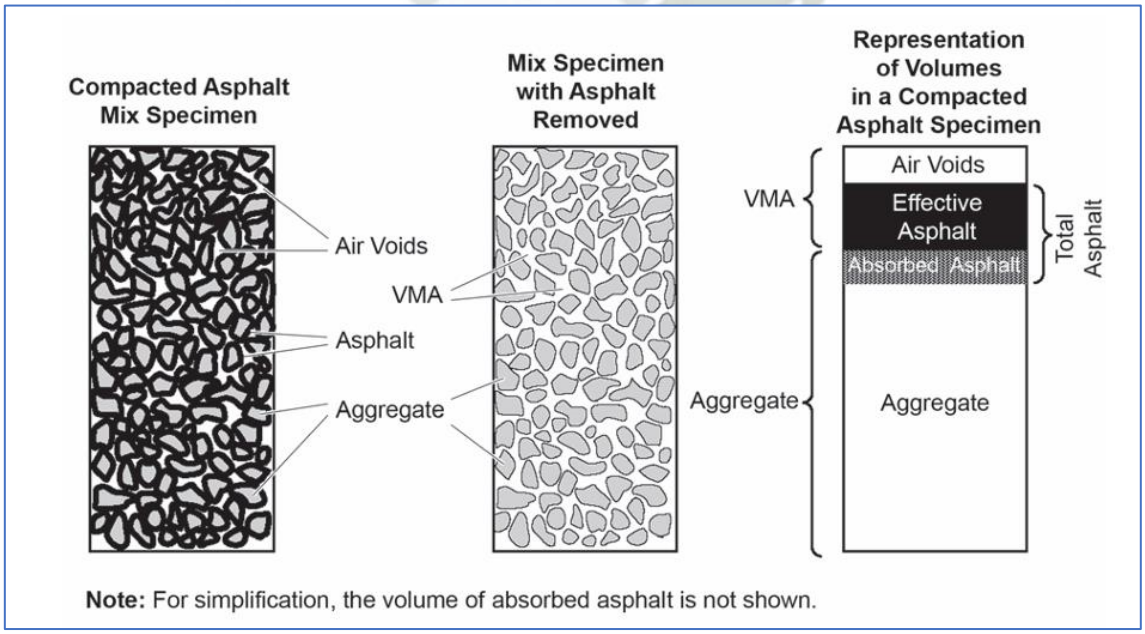
G_{mb} = Gravedad específica de la mezcla compactada

2.2.5. Absorción de los agregados

Según la NTP 400.021 (2013) se define como absorción al aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, excluyendo el agua adherida a la superficie exterior de las partículas. Los valores de absorción sirven para determinar el cambio en la masa de un agregado debido a la cantidad de agua que se encuentra en los espacios de los poros dentro de las partículas constituyentes, en comparación con su estado seco, en donde se considera que el agregado ha estado en contacto con agua el tiempo suficiente para cumplir con la mayor parte del potencial de absorción.

Figura 6

Representación gráfica de los volúmenes de aire, asfalto y agregado en un espécimen de asfalto compactado



*Nota: (*Asphalt Mix Design Methods, 2014)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.6. Factores a considerar en el Diseño de Pavimentos

2.2.6.1. El tránsito

Factores importantes a considerar para el dimensionamiento del espesor del pavimento son las cargas más pesadas por eje (simple, tándem o trídem) esperadas en el carril de diseño, las cuales determinarán la estructura del pavimento de la carretera durante el periodo de diseño. Otros factores a considerar son las cargas del tránsito y la acumulación de deformaciones en el pavimento, traducido como fatiga, ya que resultan fundamentales para la elaboración del cálculo (Montejo, 2002).

2.2.6.2. La subrasante

El espesor del pavimento depende en gran parte de la calidad de esta capa, sea este flexible o rígido. Se emplea la capacidad de resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas vehiculares como parámetro de evaluación para esta capa. Otro parámetro a tener en cuenta es la sensibilidad del suelo a la humedad, ya sea referente a la resistencia o a las variaciones de volumen (hinchamiento y retracción) ya que el cambio de volumen de tipo expansivo en los suelos puede ocasionar graves daños a la estructura que se apoya sobre estos, por lo tanto, al momento de diseñar se deberá tomar las precauciones necesarias para impedir las variaciones de humedad en el suelo, como la impermeabilización de la estructura o el uso de algún aditivo, un ejemplo que ha brindado buenos resultados es la estabilización de los suelos con cal (Montejo, 2002).

2.2.6.3. El clima

Los factores ambientales que resultan más dañinos para la estructura de pavimentos son las precipitaciones y las variaciones de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático, que influye directamente en la resistencia, la compresibilidad y promueve los cambios volumétricos de los suelos de la subrasante. Este fenómeno también influye de manera negativa en el proceso de construcción, especialmente en el movimiento

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de tierras y la colocación de las capas granulares y asfálticas. Por otro lado, los cambios de temperatura ocasionan en las losas de pavimentos rígidos esfuerzos elevados, que en algunos casos llegan a ser superiores a los generados por las cargas vehiculares (Montejo, 2002).

2.2.6.4. Los materiales disponibles.

Estos resultan determinantes para la selección de la estructura de pavimento más adecuada en los aspectos técnico y funcional. Se consideran los agregados disponibles en las canteras y depósitos aluviales del área. Para que estos cumplan con los requerimientos se debe verificar la calidad requerida, en la que se incluye la homogeneidad, hay que atender al volumen disponible aprovechable, a las facilidades de explotación y al precio. También deben considerarse los materiales básicos de mayor costo, que son los ligantes y conglomerantes (Montejo, 2002).

2.2.6.5. La resistencia estructural.

Según Montejo (2002) la metodología teórica para el análisis de la resistencia de un pavimento es proporcionada por la mecánica de suelos, y es sabido que en este campo las teorías de falla de mayor aceptación son las de esfuerzo cortante; como consecuencia, en los estudios de pavimentos flexibles suelen considerarse como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural.

Además de los esfuerzos cortantes, existen esfuerzos adicionales que actúan sobre los pavimentos, estos son producidos por la aceleración y frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión desarrollados en la superficie de la estructura.

2.2.7. Métodos de diseño de estructuras de pavimentos

Según Eliezer (2015) se puede considerar históricamente cuatro grupos de métodos de diseño de pavimentos:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.7.1. Métodos teóricos.

Estos métodos adaptan la calzada a una construcción a la que son aplicables los principios de elasticidad. Son poco usados en la práctica. Se limitan al estudio elástico de sistemas multicapas sometidos a cargas elásticas. En este grupo se encuentras los métodos desarrollados por Bacheley, Ivanoff, Boussinesq, Hogg, Pealtre, entre otros.

2.2.7.2. Métodos empíricos.

Estos métodos utilizan factores de seguridad muy altos, lo que trae como consecuencia espesores excesivos que no corresponden a las necesidades de la vía. Un ejemplo de ellos es el método del Índice de Grupo.

En general, los métodos trabajan con el valor de California Bearing Ratio (CBR) para caracterizar el módulo resiliente de la subrasante a través de una ecuación empírica, ya que determinar el módulo resiliente en campo es difícil, ya sea por la falta de equipos o la definición acertada de las trayectorias de esfuerzo. Es así como el CBR es una medida indirecta de la resistencia al corte y de la rigidez del material en condiciones no drenadas bajo las cargas de tránsito, donde generalmente los esfuerzos producidos en el pavimento en campo resultan menores que los esfuerzos obtenidos en el ensayo de CBR. Por lo tanto, es posible encontrar ecuaciones para determinar el módulo resiliente del CBR cuyas relaciones pueden conducir a diseños de estructuras sub o sobredimensionadas (Fernandez, 2013).

Los métodos empíricos correlacionan el comportamiento de los pavimentos in situ a través de observaciones y mediciones de campo con los factores que causan los mecanismos de degradación en la estructura. Dentro de estos factores se encuentran la carga de tránsito, el tipo de suelo de fundación, los materiales a utilizarse en el proceso constructivo y la calidad de estos, y los factores ambientales. Los mecanismos de degradación que se intentan controlar son la fatiga y la deformación permanente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para las estructuras de pavimento flexible la fatiga se presenta cuando se producen valores altos de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica, esta deformación es la respuesta de la estructura a la carga vehicular. Por otro lado, la deformación permanente es la deformación vertical que se acumula con el tiempo por el paso de los vehículos y genera fallas estructurales y funcionales en el pavimento (Rondón y Reyes, 2007).

En pavimentos flexibles la deformación permanente total es la suma de las deformaciones producidas en cada capa del pavimento, pero los métodos empíricos suponen que dicha deformación se genera únicamente en la capa de la subrasante, y esta es una de sus principales limitaciones. Es decir, estas metodologías no tienen en cuenta que en la base asfáltica y en la superficie de rodadura el incremento de la temperatura genera disminución de rigidez y, por lo tanto, un incremento en la deformación del pavimento; y que las capas granulares juegan un papel importante en la deformación permanente cuando se dimensionan estructuras de pavimento flexible para vías de poco tráfico. En este tipo de pavimentos la capa asfáltica no tiene una función estructural y son las capas granulares las que soportan en su totalidad las cargas (Rondón y Reyes, 2007).

2.2.7.3. Métodos mecanísticos o mecanicistas.

Según Garnica & Correa (2004) estos métodos han sido desarrollados con base en las características de los materiales y de la mecánica estructural, incluyendo consideraciones teóricas sobre la distribución de esfuerzos y de deformaciones. Estas metodologías pretenden tener un enfoque puramente científico, acompañadas de un marco teórico que permita un análisis mucho más completo del comportamiento de la estructura de pavimento ante factores como acciones del tránsito y del clima. Entonces, las propiedades fundamentales de los materiales se conocen y pueden ser determinadas en campo o en laboratorio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los métodos mecanicistas facilitan la predicción correcta de la evolución en el tiempo de los diferentes deterioros que se pueden llegar a presentar, y, por lo tanto, aumentan la confiabilidad de los diseños.

Para realizar un diseño bajo los métodos mecanicistas primero se debe realizar una estimación de valores para los llamados "componentes de entrada", que se refieren a los espesores de cada capa de la estructura, la geometría de la misma, los materiales a utilizarse en cada capa, el clima del medio físico que atravesará la carretera y el nivel de tránsito vehicular a través de su distribución de cargas. Una vez que se tiene el diseño inicial se procede al cálculo de las respuestas estructurales del pavimento; estas consisten en determinar la distribución de esfuerzos (σ), las deflexiones (δ) y las deformaciones unitarias (ε); las mismas que son calculadas considerando al pavimento como un medio multicapa en donde el comportamiento de los materiales se basa en la teoría de la elasticidad. Posteriormente se puede calcular el nivel de daño esperado en el diseño para los distintos tipos de deterioros que pudieran presentarse, como deformaciones permanentes, agrietamiento térmico, agrietamiento por fatiga, entre otros. Una vez calculados los deterioros para un determinado periodo de diseño se procede a comparar los resultados con los valores máximos permitidos por el diseñador, realizándose un proceso iterativo hasta cumplir con los requisitos de diseño (Garnica y Correa, 2004).

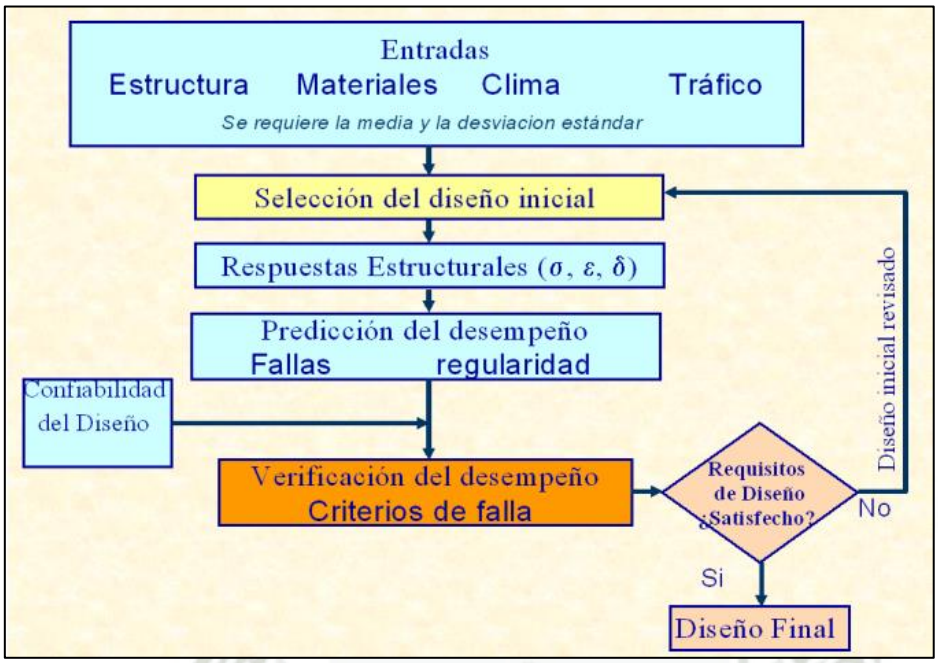
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 7

Componentes claves de los métodos Mecanicistas



Nota: Garnica y Correa (2004)

2.2.8. Método AASHTO-MEPDG

La guía AASHTO-MEPDG (colocar la palabra desarrollada de las siglas) simboliza un gran cambio en la forma del desarrollo del diseño de pavimentos, ya que considera en primer lugar las condiciones in situ como tráfico, subrasante, clima, condiciones del pavimento existente en el caso de rehabilitación y en segundo lugar una propuesta de diseño de prueba que se ajusta al comportamiento funcional y estructural obtenido; es así que el diseñador tiene la facilidad de considerar los materiales predominantes, las características del diseño, y así tener la capacidad de medir el desempeño del pavimento a lo largo de su tiempo de servicio. Además, esta metodología provee un bosquejo para el continuo mantenimiento y mejoramiento con cambios en el transporte, materiales, construcción, uso de un software y conceptos de diseño (García Vargas et al., 2014).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La guía de diseño AASHTO-MEPDG considera tres elementos primordiales, que son: La teoría para predecir las fallas asumidas o parámetros de deterioro; la evaluación de las propiedades de los materiales aplicables a la teoría seleccionada; y la determinación entre la relación de la magnitud de los parámetros en cuestión al nivel de desarrollo deseado (Montejo, 2002).

2.2.9. Capacidad estructural

Existen diferentes métodos para evaluar la capacidad estructural de un pavimento con la finalidad de definir su aptitud para resistir las cargas a las que se encuentra sometido. La evaluación de la capacidad estructural en pavimentos se realiza utilizando principalmente métodos no destructivos, los cuales consisten en aplicar una carga bajo condiciones dinámicas, estáticas o por impacto, cuyos resultados ayudan a determinar las deformaciones o deflexiones asociadas a la solicitación inducida, y así poder definir su capacidad para soportar las cargas vehiculares. (Perez et al., 2004)

2.2.9.1. Número estructural (SN).

La guía de diseño AASHTO 93 define el número estructural para cuantificar la capacidad estructural de una estructura de pavimento ante las solicitaciones del tránsito, el cual se puede calcular de forma indirecta o retro calculadas a partir de las deflexiones y de forma directa a partir de los módulos, el espesor y coeficiente de drenaje de cada capa.

$$SN = D_1 a_1 + D_2 a_2 m_2 + \cdots + D_i a_i m_1$$

Donde:

SN = Número Estructural

D = Espesor de la capa i en pulgadas

a = Coeficiente estructural de la capa i

m = Coeficiente de drenaje de la capa i

i = Número de capa

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La estructura de pavimento debe cumplir con un número estructural efectivo (SN_{ef}) mayor al número estructural calculado directamente (SN_{calc}) para su óptimo comportamiento estructural. (Bejarano, 2007)

2.2.9.2. Módulo resiliente.

El método de diseño propuesto en la guía de diseño AASHTO incorpora el concepto de módulo resiliente como el principal parámetro representativo de la capacidad de soporte del suelo. Está definido como el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial entre la deformación axial recuperable. (Bejarano, 2007)

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_R}$$

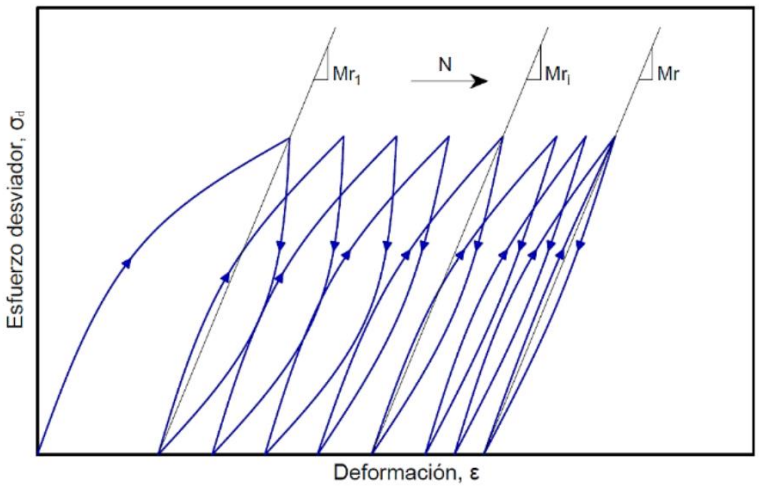
Donde:

σ_d = Esfuerzo desviador

ε_R = Deformación axial recuperable

Figura 8

Definición de Módulo Resiliente



Nota: Romero, et al. (2018)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El módulo resiliente es una medida de las propiedades elásticas de los suelos reconociendo una cierta característica no lineal, por lo que es similar al módulo dinámico. En general el módulo resiliente de un suelo es determinado en pruebas de laboratorio, este depende de muchos factores como: contenido de agua, peso volumétrico seco, esfuerzo desviador y de confinamiento, tamaño y preparación del espécimen, la forma del pulso, duración, frecuencia y secuencia de los niveles de esfuerzo, el equipo de ensaye y el método de acondicionamiento (Romero et al., 2018).

2.2.10. Ensayo de absorción de agregados

Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (NTP 400.021): En este ensayo una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 ± 4 horas para llenar sus poros, luego la muestra es extraída del agua y se seca el agua superficial de las partículas para determinar su masa. Posteriormente, el volumen de la muestra se determina mediante el método de desplazamiento de agua. Por último, la muestra es secada en horno y se determina la masa de la misma. Con los valores obtenidos y las fórmulas de este método se determinan la densidad, densidad relativa y la absorción.

La fórmula para calcular el porcentaje de absorción es:

$$Ab\% = \left[\frac{B - A}{A}\right] * 100$$

Donde:

A: masa de la muestra secada al horno en aire (g)

B: masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire (g)

C: masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua (g)

Para calcular el valor promedio de absorción cuando la muestra es ensayada en fracciones de tamaño separadas, se utiliza la siguiente expresión:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

$$A = \left(\frac{A_1}{100}\right) + \left(\frac{A_2}{100}\right) + \cdots + \left(\frac{A_n}{100}\right)$$

Donde:

A: Absorción promedio (%)

$A_1, A_2, \ldots, A_n$: porcentaje de absorción para cada fracción de tamaño

$P_1, P_2, \ldots, P_n$: porcentaje de masa para cada fracción de tamaño presente en la muestra original.

2.2.11. Método de ensayo Rice

La norma ASTM D-2041 (Gravedad especifica máxima teórica en mezclas bituminosas) define la gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación como propiedades fundamentales cuyos valores se ven influenciados por la composición de la mezcla en términos de tipo y montos de materiales bituminosos.

El ensayo consta en pesar una mezcla de pavimentación secada al horno en la condición suelta colocada en un vaso de vacío calibrada y tarada. La mezcla se sumerge en agua a la temperatura de 25°C. Se aplica vacío gradualmente para reducir la presión residual en el vaso de vacío a 4kP (30 mm de Hg) o menos y es sostenida por 15 ± 2 minutos. Posterior a este tiempo, el vacío es gradualmente retirado. Se obtiene el volumen de la mezcla de pavimento por inmersión del contenedor de vacío con la muestra en un baño de agua y pesando o llenando completamente el nivel del contenedor de vacío de agua y pesado al aire. Tanto la temperatura como la masa son medidas a la vez, y a partir de estos valores se puede medir la gravedad específica o densidad a 25°C.

2.2.11.1. Aparatos y equipos.

- Tazón de vacío: Tazón de plástico o metal con un diámetro aproximado de 180 a 260 mm y altura de al menos 160 mm, el cual deberá estar equipado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

con una cubierta transparente y adaptado con un relleno de hule, además de una conexión para la línea de vacío. Tanto el tazón como la cubierta deben ser capaces de resistir las presiones de vacío aplicadas sin presentar una deformación visible.

- Frasco de vacío para pesado en aire: Frasco volumétrico con espesor grueso y una capacidad de aproximadamente 4000 mL, sellado con un tampón de hule y una conexión a la línea de vacío.
- Balanza: Con precisión de 0.1 g y conforme a los requerimientos de la especificación D 4753.
- Bomba de vacío o aspirador de agua: Capaz de evacuar el aire desde el vaso de vacío a una presión residual de 4.0 kPa (30 mm de Hg) o menos.
- Manómetro de presión residual: Será usado para confirmar la presión específica que es aplicada al contenedor y medirá la presión residual de 4.0 kPa (30 mm de Hg) o menos. Se conecta al final de la línea de vacío usando un tubo apropiado y la conexión "T" en la parte superior del contenedor o una abertura separada en la parte superior del contenedor conectada a la manguera.
- Manómetro o medidor de vacío: Para medir el vacío que está siendo aplicado a la Nota de vacío.
- Termómetros: Termómetro líquido en vidrio calibrados de rango aceptable con sub divisiones y escala máxima de error de 0.5°C.
- Baño de agua: Capaz de mantener por algún medio una temperatura constante de 20 y 30° C.
- Válvula de sangrado: ajustada al vacío que está siendo aplicado al vaso de vacío y el lento retiro de presión de vacío.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Aparato de agitación mecánica: Capaz de aplicar la agitación suficiente a la muestra.
- Horno: Capaz de mantener la temperatura de 110 ± 5° C

Figura 9

Bomba de vacío para equipo de ensayo Rice

Nota: Elaboración propia

Figura 10

Base vibratoria y picnómetro de vacío para equipo de ensayo Rice

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.11.2. Cálculo.

La gravedad específica máxima teórica se puede calcular una vez obtenidos los datos en laboratorio, mediante las siguientes expresiones:

a. Determinación utilizando tazones bajo agua:

$$G_{mm} = \frac{A}{A - (C - B)}$$

Donde:

G_{mm}: Gravedad específica máxima de la mezcla

A: Masa de la muestra seca en aire, g

B: Masa del tazón bajo el agua, g

C: Masa del tazón y la muestra bajo el agua, g

b. Determinación de tazón al aire

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde:

G_{mm}: Gravedad específica máxima de la mezcla

A: Masa de la muestra seca en aire, g

D: Masa de la tapa y tazón con agua a 25° C, g

C: Masa de la tapa, tazón, muestra y agua a 25° C, g

c. Determinación por frasco

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde:

G_{mm}: Gravedad específica máxima de la mezcla

A: Masa de la muestra seca en aire, g

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

D: Masa de la placa cubierta y frasco lleno con agua a 25° C, g

C: Masa de frasco, placa de cubierta, muestra y agua a 25° C

2.2.11.3. Diseño de mezclas asfálticas.

Según Navarro (2017) las mezclas asfálticas se componen de un material pétreo bien graduado que es calentado a una temperatura de 140 a 150°C, y de un ligante como es el cemento asfáltico a temperatura de 110 a 130°C. La mezcla elaborada se extiende en capas hasta alcanzar el espesor requerido, posteriormente es compactada para cumplir con su funcionalidad, que consta en:

- Que la mezcla tenga la estabilidad suficiente para satisfacer las exigencias demandadas por el tránsito sin sufrir deformaciones significativas.
- Que la mezcla sea suficiente para obtener una estructura de pavimento durable, que sea capaz de cubrir en su totalidad las partículas de los agregados pétreos logrando que estas se encuentren ligadas e impermeabilizadas entre sí.
- Que la mezcla presente una trabajabilidad que permita su manejabilidad al momento de su elaboración y compactación.
- Que la cantidad de vacíos sea suficiente para impedir afloramientos de asfalto que causen pérdida en la estabilidad de la estructura.

2.2.12. Método de ensayo Marshall

Este ensayo de laboratorio tiene como finalidad el correcto diseño de mezclas asfálticas por medio del análisis de sus propiedades, como: fluencia, densidad, estabilidad y porcentaje de vacíos; determinando el contenido óptimo de asfalto para una combinación propia de agregados pétreos (ASTM D1559, 1998).

Para el desarrollo del ensayo Marshall se elaboran probetas en laboratorio de los diseños de mezcla con distintas dosificaciones propuestas, buscando un contenido óptimo de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

cemento asfáltico. En la presente investigación se prepararán especímenes con dosificaciones de cemento asfáltico de 4.0%; 4.5%; 5.0%; 5.5%; 6.0% y 6.5%; preparando las muestras con los pesos correspondientes de agregados para cada porcentaje de cemento asfáltico propuesto, donde el peso final de la muestra debe ser de 1200 gramos.

Dichas muestras se elaboran para determinar la gravedad específica bulk y realizar el ensayo Marshall obteniendo valores de estabilidad y flujo. La norma MTC E 504 indica que se deben elaborar como mínimo 3 especímenes con la misma dosificación de cemento asfáltico, agregados y filler, además de golpes de compactación y temperatura.

Para la elaboración de muestras se debe pesar el agregado y calentarlo al horno a una temperatura de 150°C ± 1 °C. De la misma manera se calienta el cemento asfáltico según su carta de viscosidad; en esta investigación se hace uso de Cemento asfáltico PEN 85/100, por lo tanto, la temperatura debe oscilar entre 135 y 150°C. Según la norma ASTM D6926, se procede a la mezcla añadiendo el cemento asfáltico a los agregados manteniendo una temperatura constante entre 135 y 150°C por al menos 60 segundos.

Figura 11

Preparación y mezcla de agregados y cemento asfáltico

Nota: Elaboración propia

Posteriormente se coloca la mezcla en los moldes previamente calentados en el horno entre 90 y 150°C con papel antiadherente en la base y se chusea la mezcla 15 veces alrededor

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

del perímetro y 10 veces en el interior. Se aseguran los moldes en el pedestal de compactación y se procede a realizar los golpes requeridos con el martillo de compactación; luego se da la vuelta al molde y se procede a realizar la misma cantidad de golpes a la otra cara. En esta investigación la cantidad de golpes a ejecutar son 75 por lado.

Figura 12

Martillo de compactación y compactación de la mezcla asfáltica

Nota: Elaboración propia

Se deja enfriar los especímenes por completo para evitar que la muestra se dañe y se procede a desmoldarlos haciendo uso de una gata hidráulica. Una vez que las muestras han alcanzado la temperatura ambiente se procede a medir sus dimensiones con un vernier y a determinar su peso seco, sumergido y saturado superficialmente seco para la determinación de su peso específico Bulk como lo indica la norma MTC E506.

Figura 13

Desmolde de especímenes en prensa hidráulica

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Se procede a colocar las muestras en un baño de agua a 60±1°C por un tiempo de 30 a 40 minutos. Transcurrido ese tiempo, se colocan los especímenes en el segmento inferior del cabezal del aparato Marshall, luego se coloca y ajusta el segmento superior y se coloca el conjunto completo bajo la máquina de carga. Se aplica la carga al especimen por medio de una razón constante de 50 mm/min hasta que el dial indique que la carga empieza a decrecer. Se registra la máxima carga indicada y la lectura del flujómetro en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer.

Figura 14

Prensa Marshall

Nota: Elaboración propia

Se realiza el siguiente cálculo:

$$A = B * C$$

Donde:

A = estabilidad corregida

B = Medida de estabilidad (carga)

C = Razón de correlación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.3. Marco Legal

AASHTO TP57: Método de ensayo estándar para la detección cualitativa de arcillas nocivas del grupo de las esmectitas en agregados utilizando azul de metileno: Este método de ensayo sirve para determinar la cantidad de material potencialmente dañino, incluyendo arcilla y material orgánico, presente en la fracción fina de un agregado mediante la determinación del Valor de Azul de Metileno.

ASTM D2041: Método estándar de prueba para Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación: Este método de ensayo tiene como finalidad determinar la gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas no compactadas a 25 º C (77 º F).

ASTM D4791: Método de ensayo estándar para partículas planas, partículas chatas y partículas elongadas en agregado grueso: este método de ensayo cubre la determinación de los porcentajes de partículas planas, alargadas o alargadas y planas de agregado grueso.

ASTM 6926: Método estándar para la preparación de muestras de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall: Abarca la preparación y compactación de una mezcla cilíndrica de asfalto de 101.6 mm de diámetro mediante 63.5 mm nominales de mezcla. asfáltico.

MTC E111: Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.): Este ensayo es usado como una parte esencial de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar el porcentaje fino de suelos y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción. Estas propiedades son utilizadas para correlacionarlas con su desempeño ingenieril, como en el caso de la compresividad, resistencia al corte y contracción – expansión.

MTC E114: Prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado: La finalidad de este método de ensayo es indicar las proporciones relativas de suelos arcillosos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4 (4,75mm).

MTC E205: Gravedad específica y absorción de agregados finos: Los valores de absorción son utilizados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial.

MTC E206: Peso específico y absorción de agregados gruesos: Este método es un procedimiento para determinar el peso específico seco, saturado con superficie seca, aparente y la absorción después de 24 horas del agregado grueso.

MTC E207: Abrasión de los Ángeles al desgaste de los agregados: Es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, para determinar la resistencia a la degradación del material, incluyendo abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo.

MTC E209: Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio: este método de ensayo tiene por finalidad determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

MTC E210: Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso: La finalidad de la determinación del porcentaje de partículas con caras fracturadas consiste en maximizar el esfuerzo cortante mediante incremento de fricción entre partículas tanto en las mezclas de agregados sueltos o compactados. Otro propósito es suministrar estabilidad a los tratamientos de superficies de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

agregados y proporcionar fricción incrementada por la textura para los agregados usados en los pavimentos de superficies granulares.

MTC E214: Prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado: Este ensayo tiene como finalidad la determinación del índice de durabilidad de un agregado, el cual calcula un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos dañinos como la arcilla, cuando es sometido a métodos de degradación mecánicos.

MTC E219: Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles: Tiene como finalidad determinar el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas

MTC E222: Angularidad del agregado fino: Su objetivo es determinar mediante el cálculo de vacíos de aire, la angularidad de los agregados finos, la cual se correlaciona con la resistencia al ahuellamiento.

MTC E517: Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado – bitumen: Su finalidad es escribir el revestimiento y procedimientos para determinar la retención de una película bituminosa en una superficie de agregado en presencia de agua.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1. Tipo de investigación

Tipo de investigación: Será aplicada debido a que según el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Investigación (CONCYTEC), la investigación aplicada consiste en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo o propósito específico práctico. La presente investigación presenta como propósito determinar la gravedad específica máxima teórica para diferentes tiempos de absorción de los agregados para mezclas asfálticas.

La presente investigación pertenece al nivel correlacional con un enfoque cuantitativo. La investigación correlacional es un tipo de estudio que tiene como propósito evaluar la relación entre dos o más variables. Los estudios cuantitativos correlacionales miden cada variable y analizan la correlación (Hernández Sampieri, et al, 2018).

En este estudio se analiza la relación y la influencia directa que tiene la variable independiente, tiempos de absorción de los agregados, sobre la variable dependiente, la cual es la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.2. Método de investigación

Tabla 9

Métodos de la investigación

Ítem	Objetivo	Método
O1	Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados para la mezcla asfáltica.	Ensayos de laboratorio indicados en la sección 4.5.1. Procedimientos
O2	Determinar los valores de la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica según los distintos tiempos de absorción determinados haciendo uso del ensayo Rice	Método de ensayo de determinación de la gravedad específica máxima teórica Rice
O3	Determinar los valores de absorción del agregado en función del tiempo de secado de la mezcla asfáltica	Ensayos de laboratorio indicados en la sección 4.5.1. Procedimientos
O4	Determinar la relación entre el tiempo de absorción de asfalto y las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla	Análisis de correlación a través de gráficas

Nota: Elaboración propia

3.3. Variables

Independiente

La variable independiente en esta investigación es el tiempo de absorción en los agregados.

Dependiente

La variable dependiente es la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.3.1. Operacionalización de variables

Tabla 10

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Indicadores
Independiente: tiempo de absorción en los agregados	Incremento en la masa de los agregados debido al agua adherida a la superficie de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca. (NTP 400.021, 2013)	Tiempo de secado (15, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas y 4 horas)
Dependiente: gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica	Relación de peso entre el volumen de la mezcla asfáltica determinada mediante ensayos de laboratorio, considerando una condición de máxima de compactación (100%) o, dicho de otra manera, 0% de vacíos. (Solorzano, et. al, 2015)	Fórmula de Rice

Nota: Elaboración propia

3.4. Materiales y lugar de ejecución

3.4.1. Lugar

Para este estudio, se desarrollará la experimentación por medio de ensayos en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Católica de Santa María; y respecto al análisis de correlación a través de gráficas del procesamiento y obtención de resultados, será realizado en gabinete por la investigadora.

3.5. Población, muestra y muestreo

La población será los agregados utilizados para el diseño de las mezclas asfálticas; estos provendrán de Notas locales, las cuales representen una variedad de tamaño y características.

La muestra consistirá en la selección de los agregados de una cantera; considerando que esta muestra abarque una representación en cuanto, a las características; la cual será a criterio del investigador.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El muestreo es de tipo no probabilístico, debido a que el agregado será seleccionado por el investigador, considerando sus características y limitaciones de obtención, tiempo y recursos.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la correcta recolección de datos, se seguirán los pasos a describirse a continuación:

- Revisión bibliográfica preliminar de antecedentes y teoría respecto a mezclas asfálticas para pavimentos y los ensayos respectivos a realizarse.
- Elaboración de fichas de laboratorio para la correcta toma de datos.
- Observación, caracterización y delimitación de las muestras tomadas para los diferentes ensayos normados de laboratorio.
- Con los datos obtenidos de los ensayos mencionados anteriormente se determinará la gravedad máxima para las muestras en base a los tiempos de absorción de los agregados.

3.6.1. Procedimientos

Según Sampieri (2014) el proceso de recolección de datos de una investigación cuantitativa consiste en:

- Definir la forma idónea de recolectar los datos de acuerdo con el planteamiento del problema y las etapas previas de la investigación. En este caso se utilizará la observación como proceso, la cual requiere que el investigador tenga acceso directo al evento de estudio y que sea testigo de las manifestaciones del evento.
- Seleccionar y elaborar métodos para recolectar los datos requeridos. Para este trabajo de investigación se emplearán los equipos e instrumentos normados para cada ensayo técnico a realizarse, siguiendo lo indicado en la Norma Técnica Peruana.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

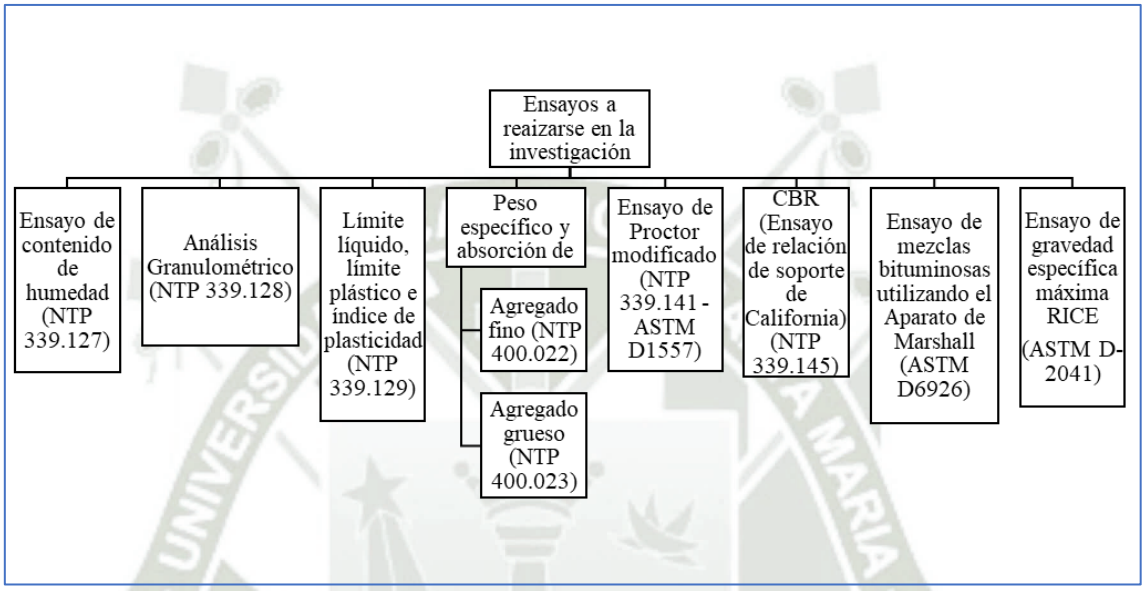
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Aplicar los instrumentos o métodos.
- Obtener y codificar los datos.

A continuación, se detallan los ensayos a realizar en la investigación

Figura 15

Ensayos a realizarse en la investigación



Nota: Elaboración propia

3.6.2. Método de análisis de datos

Para el correcto análisis de datos se seguirán los pasos a describirse a continuación:

- Con los resultados obtenidos de los ensayos mencionados anteriormente, se determinará la gravedad específica máxima por medio de las fórmulas establecidas.
- Se aplicarán técnicas y herramientas de análisis para garantizar la precisión y confiabilidad en la determinación de la relación de los resultados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.7. Aspectos éticos

La presente investigación garantiza la veracidad y confiabilidad de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos y su correspondiente análisis.

El estudio mantiene la finalidad de la Universidad Católica de Santa María, debido a que también busca la transferencia de tecnología, que sea capaz de generar conocimiento y desarrollo, y asegure la participación de investigadores de calidad, con equidad, responsabilidad, transparencia y compromiso con la sociedad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

4.1.1. Granulometría del agregado fino

4.1.1.1. Muestra de cantera la poderosa fracción 1.

Tabla 11

Análisis granulométrico del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 1

Peso inicial			1417,52		
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1"	25,400	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,525	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
N°4	4,760	22,59	1,60%	1,60%	98,40%
N°8	2,380	168,34	11,90%	13,49%	86,51%
N°10	2,000	60,27	4,26%	17,75%	82,25%
N°16	1,190	196,21	13,87%	31,62%	68,38%
N°30	0,590	294,88	20,84%	52,46%	47,54%
N°40	0,426	152,04	10,74%	63,20%	36,80%
N°50	0,297	146,02	10,32%	73,52%	26,48%
N°80	0,177	125,66	8,88%	82,40%	17,60%
N°100	0,149	74,98	5,30%	87,70%	12,30%
N°200	0,074	106,30	7,51%	95,21%	4,79%
Fondo		67,74	4,79%	100,00%	0,00%
Total		1415,03	100,00%		

Nota: Elaboración propia

La tabla presentada corresponde al análisis granulométrico de un agregado fino, obteniendo datos relevantes sobre el peso retenido en cada tamiz, el porcentaje retenido por cada fracción, el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje pasante a través de cada tamiz. En primer lugar, se observa que el peso inicial de la muestra es de 1417,52 gramos, lo que representa el total de la muestra analizada.

En cuanto a la distribución del material, se destaca que los tamices con aperturas más grandes (1", 3/4", 1/2", 3/8") no retuvieron material, lo que indica que el agregado es predominantemente fino en estas fracciones mayores. A partir del tamiz N°4 (con apertura de 4,760 mm), se comienza a retener una pequeña fracción del material, alcanzando un

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1,60%. Este porcentaje es relativamente bajo, lo que implica que la mayor parte del material es más fino que esta fracción. Sin embargo, a medida que se disminuye el tamaño de los tamices, el porcentaje de material retenido aumenta progresivamente. Por ejemplo, en el tamiz N°8 (apertura de 2,380 mm), el material retenido alcanza un 11,90%, lo que denota un cambio en la distribución del tamaño de las partículas.

El porcentaje retenido acumulado es otro aspecto clave que muestra cómo se distribuye el material a través de los diferentes tamices. Se observa que el material se concentra principalmente en las fracciones entre el tamiz N°30 y el N°40, con un 20,84% y 10,74% retenido respectivamente. Esto sugiere que la mayor parte del agregado se encuentra dentro de las fracciones intermedias, lo que puede ser beneficioso para el diseño de mezclas asfálticas, ya que estas partículas ofrecen un buen equilibrio entre compacidad y resistencia.

Por otro lado, el porcentaje pasante muestra qué parte del material ha pasado a través de cada tamiz. En los tamices de mayor tamaño, como el 1" y 3/4", el 100% del material ha pasado, lo que indica que estos tamices no retuvieron partículas de mayor tamaño. En los tamices más pequeños, como el N°200, el 95,21% del material ha pasado, lo que resalta que el agregado tiene una alta proporción de material fino adecuado para mezclas asfálticas.

Finalmente, el total de material retenido es de 1415,03 gramos, lo que representa el 100% de la muestra, con una diferencia mínima de 2,49 gramos, lo cual puede deberse a pequeñas pérdidas durante el proceso de análisis y tamizado.

En conclusión, los resultados del análisis granulométrico indican que el agregado es principalmente fino, con una distribución que favorece las fracciones menores a 1/4". La alta proporción de material pasante en los tamices N°30, N°40 y N°50 sugiere que el material es adecuado para su uso en mezclas asfálticas. Esta característica es importante para la compacidad y durabilidad de la mezcla, ya que los agregados finos contribuyen a la cohesión y estabilidad del asfalto. Además, la uniformidad en la distribución de partículas asegura que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

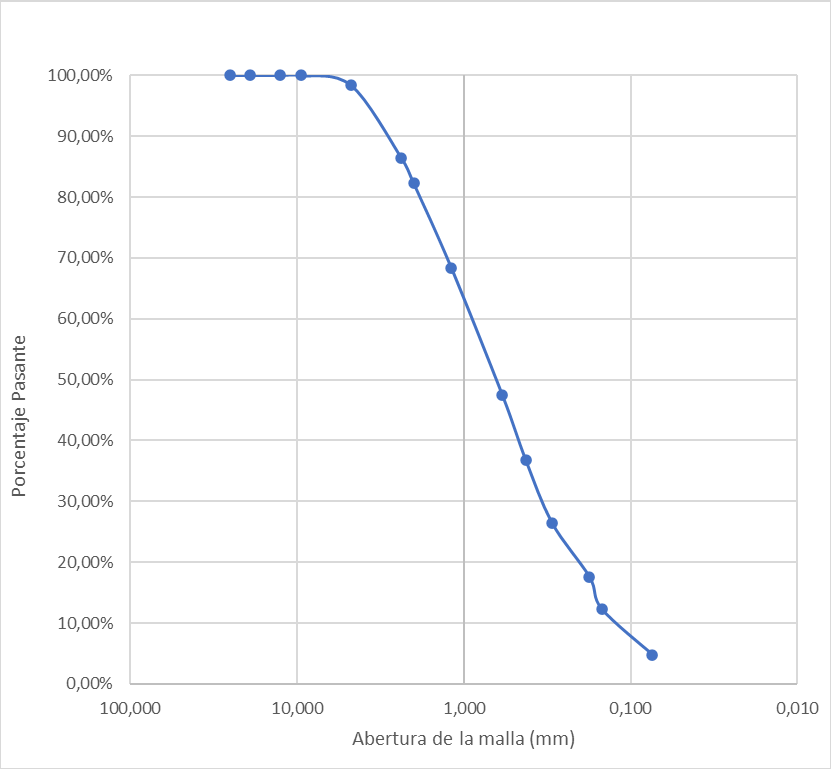
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

el material no presente grandes variaciones, lo que es crucial para un rendimiento consistente en la construcción de pavimentos.

Figura 16

Curva granulométrica del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 1



Nota: Elaboración propia

El comportamiento observado en la curva es típico de los agregados naturales, donde las partículas más grandes se retienen en mallas con aberturas mayores, mientras que las más pequeñas pasan por mallas con aberturas más pequeñas. Este tipo de curva es fundamental para evaluar la idoneidad del material en aplicaciones de construcción, ya que la granulometría influye directamente en las propiedades del concreto o asfalto, como la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad.

La figura también evidencia que una porción significativa del agregado, probablemente más del 90%, pasa a través de mallas de apertura superior a 1 mm, lo que sugiere una distribución relativamente uniforme en las partículas más finas. Sin embargo, el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

cambio abrupto a medida que la malla se hace más fina (menor a 0,1 mm) indica que el material tiene una concentración importante de partículas finas que podrían influir en el comportamiento de la mezcla, ya que el exceso de finos puede afectar la cohesión y la resistencia del concreto.

En resumen, la curva granulométrica refleja la calidad y la distribución de tamaños de las partículas en el agregado, lo cual es crucial para su correcto uso en mezclas de concreto y otros materiales de construcción. La interpretación precisa de estos datos es esencial para garantizar que el material cumple con las especificaciones técnicas requeridas para cada tipo de obra.

4.1.1.2. Muestra de cantera la poderosa fracción 2.

Tabla 12

Análisis granulométrico del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 2

Peso inicial			1687,97		
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1"	25,400	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,525	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
N°4	4,760	26,29	1,56%	1,56%	98,44%
N°8	2,380	205,33	12,17%	13,73%	86,27%
N°10	2,000	67,24	3,99%	17,72%	82,28%
N°16	1,190	263,85	15,64%	33,36%	66,64%
N°30	0,590	327,64	19,42%	52,78%	47,22%
N°40	0,426	209,74	12,43%	65,21%	34,79%
N°50	0,297	178,92	10,61%	75,82%	24,18%
N°80	0,177	161,23	9,56%	85,38%	14,62%
N°100	0,149	82,64	4,90%	90,28%	9,72%
N°200	0,074	106,39	6,31%	96,59%	3,41%
Fondo		57,60	3,41%	100,00%	0,00%
Total		1686,87	100,00%		

Nota: Elaboración propia

La tabla presentada muestra los resultados del análisis granulométrico del agregado fino correspondiente a la muestra de cantera La Poderosa, fracción 2. El peso inicial de la muestra fue de 1687,97 gramos, y en este caso, se realizaron mediciones para determinar el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

peso retenido en cada tamiz, así como el porcentaje retenido y porcentaje pasante a través de cada fracción.

En términos de distribución, los tamices con aperturas mayores a 1/2" (1", 3/4", 1/2", 3/8") no retuvieron material, lo que confirma que el agregado de esta muestra es principalmente fino. A partir del tamiz N°4 (apertura de 4,760 mm), el material comenzó a ser retenido, registrando un 1,56% de material retenido. Este valor es bajo, lo que indica que una pequeña proporción del material tiene partículas mayores que 4,760 mm.

El porcentaje retenido acumulado muestra la distribución de las partículas a través de los tamices. Se observa que el material está principalmente concentrado en los tamices con aperturas más pequeñas. En el tamiz N°30 (0,590 mm), se retuvo el 19,42% del material, lo que representa una gran proporción del agregado. A medida que se pasa a tamices más pequeños, como el N°40 (0,426 mm) y N°50 (0,297 mm), se observan porcentajes de material retenido de 12,43% y 10,61%, respectivamente. Esto refleja que la mayor parte del material de esta muestra se encuentra en el rango de partículas finas.

El porcentaje pasante indica qué parte del material ha pasado a través de cada tamiz. En los tamices más grandes, como 1", 3/4" y 1/2", el 100% del material ha pasado, lo que significa que no hay partículas gruesas en esta muestra. A medida que el tamaño del tamiz se hace más pequeño, el porcentaje de material que pasa aumenta. Por ejemplo, en el tamiz N°200 (0,074 mm), 96,59% del material ha pasado, lo que indica una alta proporción de material fino, adecuado para la fabricación de mezclas asfálticas.

Finalmente, el total de peso retenido es de 1686,87 gramos, lo que representa el 100% de la muestra inicial, con una pequeña diferencia de 1,10 gramos, posiblemente debido a las pérdidas durante el proceso de tamizado.

En resumen, el análisis granulométrico revela que el agregado fino de la muestra de cantera La Poderosa, fracción 2, está compuesto en su mayoría por material fino, con una

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

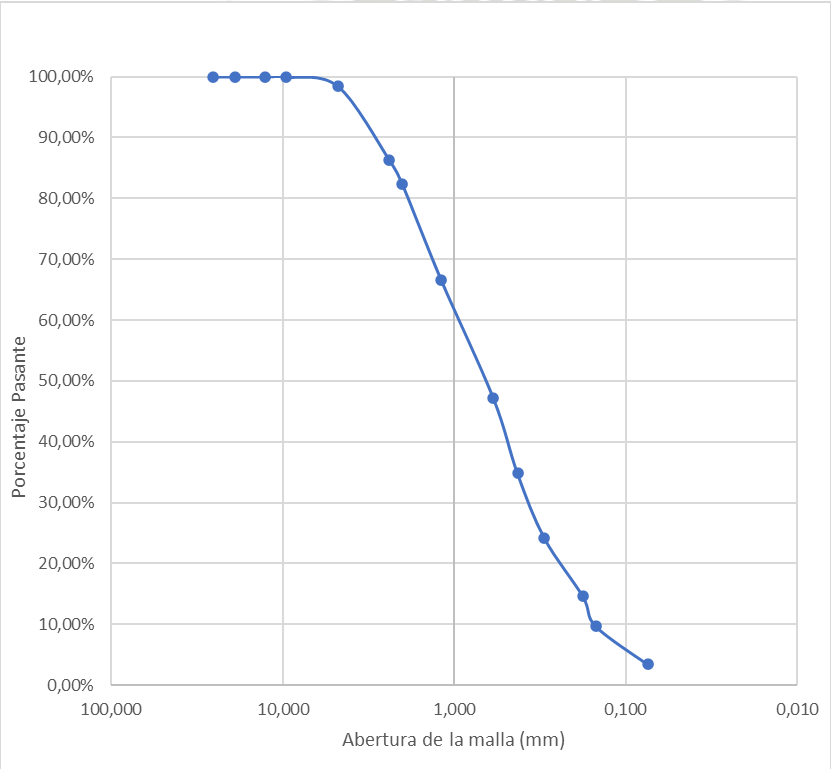
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

distribución que favorece las fracciones pequeñas. La mayor concentración de material se encuentra en los tamices N°30 y N°40, con un alto porcentaje pasante en los tamices más pequeños. Este tipo de distribución es adecuado para la producción de mezclas asfálticas, ya que proporciona una buena cohesión y estabilidad a la mezcla. La calidad del agregado es apropiada para su uso en la construcción de pavimentos, ya que las partículas finas contribuyen a la compacidad y resistencia de la mezcla.

Figura 17

Curva granulométrica del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 2



Nota: Elaboración propia

La curva granulométrica presentada en la figura muestra el comportamiento de la distribución de tamaños de partículas del agregado fino de la muestra de la cantera La Poderosa, correspondiente a la fracción 2. Se observa que al principio, con aberturas de malla mayores a 10 mm, el porcentaje de material pasado es cercano al 100%. A medida que la apertura de la malla disminuye, el porcentaje de material que pasa también disminuye de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

manera abrupta, lo que indica una concentración significativa de partículas finas en tamaños más pequeños.

La pendiente pronunciada en la curva sugiere que el agregado contiene una alta proporción de partículas de tamaño fino, lo cual es característico en agregados para mezclas que requieren una alta compactación. Esta distribución podría ser adecuada para ciertos tipos de concreto o asfaltos, ya que contribuye a una mayor densidad y resistencia del material, aunque es importante considerar su compatibilidad con otros componentes en la mezcla.

4.1.1.3. Muestra de cantera la poderosa fracción 3.

Tabla 13

Análisis granulométrico del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 3

Peso inicial			1317,2		
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1"	25,400	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,525	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
N°4	4,760	17,35	1,32%	1,32%	98,68%
N°8	2,380	126,92	9,65%	10,97%	89,03%
N°10	2,000	146,64	11,15%	22,12%	77,88%
N°16	1,190	265,89	20,22%	42,34%	57,66%
N°30	0,590	142,39	10,83%	53,17%	46,83%
N°40	0,426	165,90	12,62%	65,79%	34,21%
N°50	0,297	130,22	9,90%	75,69%	24,31%
N°80	0,177	117,28	8,92%	84,61%	15,39%
N°100	0,149	69,45	5,28%	89,89%	10,11%
N°200	0,074	90,67	6,89%	96,78%	3,22%
Fondo		42,31	3,22%	100,00%	0,00%
Total		1315,02	100,00%		

Nota: Elaboración propia

La tabla presentada corresponde al análisis granulométrico del agregado fino de la muestra de cantera La Poderosa, fracción 3. El peso inicial de la muestra es de 1317,2 gramos, y en ella se realizó el análisis para determinar el peso retenido, el porcentaje retenido y el porcentaje pasante a través de cada tamiz.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

En cuanto a la distribución del material, los tamices con aperturas mayores a 1/2" (1", 3/4", 1/2", 3/8") no retuvieron material, lo que confirma que el agregado es principalmente fino en esta fracción. A partir del tamiz N°4 (apertura de 4,760 mm), se comenzó a retener material, con un 1,32% de material retenido. Este porcentaje es bajo, lo que indica que el agregado de esta fracción tiene principalmente partículas finas.

El porcentaje retenido acumulado muestra cómo se distribuye el material a lo largo de los diferentes tamices. Se observa que la mayor parte del material está concentrado en los tamices de tamaño más pequeño. En el tamiz N°16 (apertura de 1,190 mm), el 20,22% del material fue retenido, lo que indica que el agregado contiene una proporción considerable de partículas en este rango de tamaño. En los tamices más pequeños, como el N°30 (0,590 mm) y N°40 (0,426 mm), el material retenido alcanza 10,83% y 12,62%, respectivamente, lo que sugiere que una buena parte del agregado es de tamaño fino, pero con partículas aún más pequeñas presentes.

El porcentaje pasante en los tamices más grandes, como el 1", 3/4" y 1/2", muestra que 100% del material ha pasado a través de estos tamices. Esto confirma que el agregado es muy fino en estas fracciones. Al llegar a los tamices de menor tamaño, como el N°200 (0,074 mm), el 96,78% del material ha pasado, lo que resalta la alta proporción de partículas finas en esta muestra.

El total de peso retenido en esta muestra es de 1315,02 gramos, lo que representa el 100% de la muestra inicial, con una diferencia mínima de 2,18 gramos, posiblemente debido a pérdidas menores durante el proceso de tamizado.

En resumen, el análisis granulométrico de esta muestra muestra que el agregado fino de la cantera La Poderosa, fracción 3, tiene una distribución de partículas predominantemente finas, con una mayor concentración en los tamices N°16, N°30 y N°40. Este tipo de distribución es adecuado para la fabricación de mezclas asfálticas, ya que las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

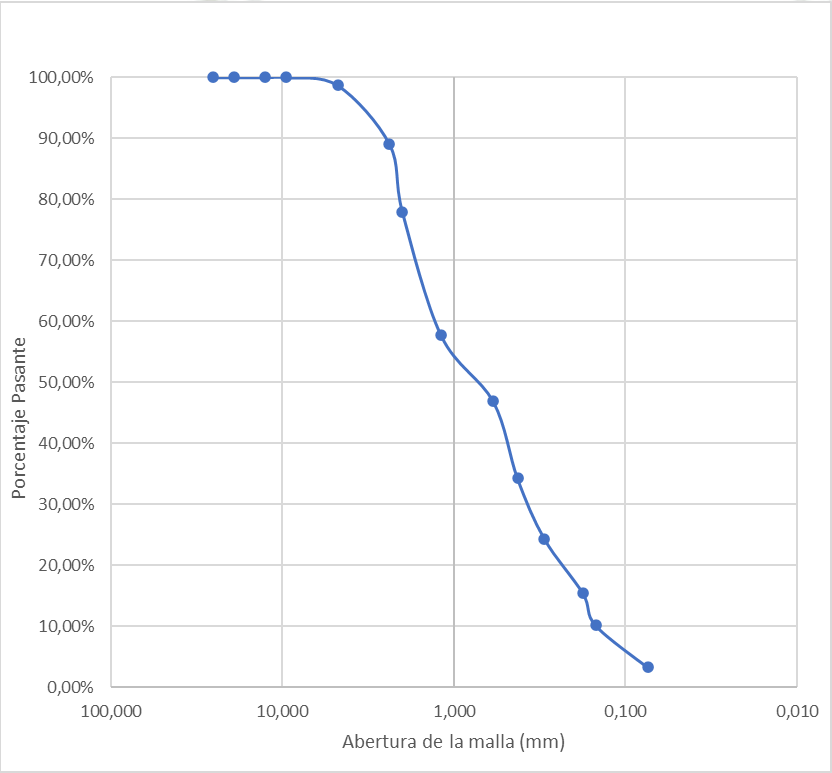
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

partículas finas contribuyen a la cohesión y estabilidad de la mezcla. El alto porcentaje de material pasante a través de los tamices más pequeños (N°100 y N°200) también indica que el material es adecuado para aplicaciones donde se requiere una alta densidad y resistencia en la mezcla asfáltica, lo que es clave para la durabilidad y desempeño del pavimento.

Figura 18

Curva granulométrica del agregado fino de muestra de cantera la poderosa fracción 3



Nota: Elaboración propia

La curva granulométrica presentada en la figura 13 muestra la distribución del agregado fino de la muestra de cantera La Poderosa, fracción 3. En el gráfico, se observa cómo el porcentaje de material que pasa a través de los tamices disminuye a medida que la abertura de la malla se reduce. Inicialmente, con aberturas grandes (10 mm), el porcentaje pasante se aproxima al 100%, lo que indica que la mayoría del material tiene un tamaño cercano a esa abertura. A medida que se reduce el tamaño de la malla, el porcentaje pasante

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

disminuye rápidamente, alcanzando un valor bajo a partir de las mallas finas (menos de 0.1 mm).

Este comportamiento es típico de agregados finos, donde la mayoría del material se encuentra en los rangos de mayor tamaño y solo una pequeña fracción pasa a través de las mallas más finas. La pendiente pronunciada de la curva refleja una transición rápida entre las partículas gruesas y finas, lo cual es característico de este tipo de agregados. Esto puede tener implicaciones en su comportamiento en mezclas, ya que la distribución granulométrica afecta propiedades como la trabajabilidad y la resistencia del concreto.

4.1.1.4. Muestra de cantera la poderosa promedio.

Tabla 14

Análisis granulométrico del agregado fino de muestra de cantera la poderosa promedio

Peso inicial					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1"	25,400	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,525	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
N°4	4,760	22,08	1,50%	1,50%	98,50%
N°8	2,380	166,86	11,33%	12,83%	87,17%
N°10	2,000	91,38	6,21%	19,04%	80,96%
N°16	1,190	241,98	16,44%	35,48%	64,52%
N°30	0,590	254,97	17,32%	52,79%	47,21%
N°40	0,426	175,89	11,95%	64,74%	35,26%
N°50	0,297	151,72	10,30%	75,04%	24,96%
N°80	0,177	134,72	9,15%	84,20%	15,80%
N°100	0,149	75,69	5,14%	89,34%	10,66%
N°200	0,074	101,12	6,87%	96,20%	3,80%
Fondo		55,88	3,80%	100,00%	0,00%
Total		1472,31	100,00%		

Nota: Elaboración propia

La tabla presentada corresponde al análisis granulométrico del agregado fino, tomando el promedio de las muestras de cantera La Poderosa. El peso inicial de la muestra no se especifica, pero el análisis incluye los valores para el peso retenido, porcentaje

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

retenido, porcentaje retenido acumulado y porcentaje pasante a través de los diferentes tamices.

En cuanto a la distribución del material, los tamices con aperturas mayores a 1/2" (1", 3/4", 1/2", 3/8") no retuvieron material, lo que indica que el agregado es fino en estas fracciones. A partir del tamiz N°4 (apertura de 4,760 mm), el material comenzó a ser retenido, con un 1,50% del material retenido. Este porcentaje es bajo, lo que sugiere que la mayor parte del agregado es de tamaño más pequeño.

El porcentaje retenido acumulado muestra que la distribución del material se concentra en las fracciones más finas. El tamiz N°16 (apertura de 1,190 mm) retuvo el 16,44% del material, lo que indica que hay una proporción considerable de partículas en este rango de tamaño. A medida que los tamices se hacen más pequeños, los porcentajes retenidos también aumentan. En el tamiz N°30 (0,590 mm), se retuvo el 17,32%, lo que muestra que una gran parte del material es fino. Los tamices de N°40 (0,426 mm) y N°50 (0,297 mm) retuvieron 11,95% y 10,30%, respectivamente, lo que refuerza la idea de que el agregado es predominantemente fino.

El porcentaje pasante muestra que en los tamices más grandes, como el 1", 3/4" y 1/2", el 100% del material pasó a través de estos tamices, lo que confirma que el agregado es mayormente fino en estas fracciones. En el tamiz N°200 (0,074 mm), el 96,20% del material pasó, lo que indica que la muestra tiene una gran proporción de partículas finas.

El total de peso retenido es de 1472,31 gramos, lo que representa el 100% de la muestra, con una pequeña diferencia de material en el fondo del tamizado de 3,80%. Esto puede ser atribuido a pequeñas pérdidas durante el análisis.

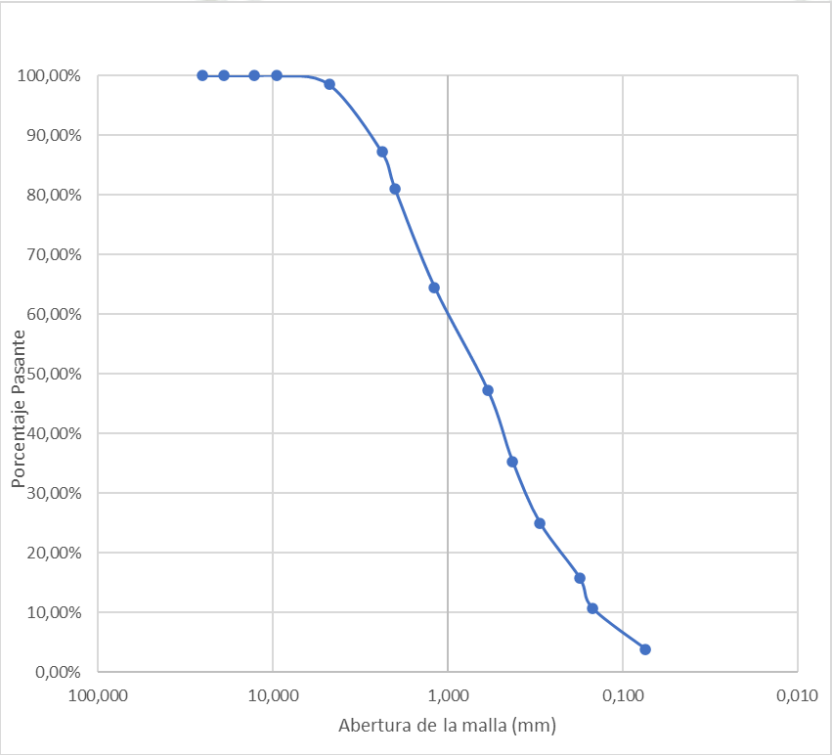
En resumen, el análisis granulométrico de la muestra promedio muestra que el agregado fino de la cantera La Poderosa está compuesto en su mayoría por partículas finas, con una alta concentración de material en los tamices N°16, N°30 y N°40. Este

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

comportamiento es adecuado para la fabricación de mezclas asfálticas, ya que las partículas finas ayudan a mejorar la cohesión y la estabilidad de la mezcla. Además, la alta proporción de material pasante en los tamices más pequeños (N°100 y N°200) hace que este material sea adecuado para aplicaciones en las que se requiere alta densidad y resistencia en la mezcla asfáltica, contribuyendo a la durabilidad y el desempeño del pavimento.

Figura 19

Curva granulométrica del agregado fino de muestra de cantera la poderosa promedio



Nota: Elaboración propia

La curva granulométrica presentada en la Figura 14 muestra la distribución del tamaño de partículas del agregado fino proveniente de la cantera La Poderosa. A medida que disminuye el tamaño de la malla (en mm) en el eje horizontal, se observa una reducción en el porcentaje de material que pasa a través de las mallas, lo que indica una distribución típica de agregados finos. En las primeras aperturas de malla grandes, cerca del 100% del material pasa, lo que sugiere una baja cantidad de partículas finas. A medida que se reduce el tamaño

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de la malla, el porcentaje de material que pasa disminuye drásticamente, lo cual es característico de los agregados con una granulometría más fina.

El comportamiento de la curva revela una rápida disminución del porcentaje de material pasante a medida que el tamaño de la malla se reduce a partir de 1 mm hasta llegar a los tamaños más finos, donde la curva se aplana. Este tipo de curva es común en los agregados finos y permite evaluar su idoneidad para la fabricación de mezclas, como las de concreto o asfalto, al considerar las propiedades de la granulometría y la cantidad de finos que aporta. El análisis de esta curva es fundamental para determinar si el agregado cumple con las especificaciones requeridas para su uso en aplicaciones de construcción.

4.1.2. Granulometría del agregado grueso

4.1.2.1. Muestra de cantera la poderosa fracción 1.

Tabla 15

Análisis granulométrico de agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 1

Peso inicial			2628,5		
Tamiz	**Abertura**	**Peso retenido (g)**	**% Retenido**	**% Retenido acumulado**	**% Pasante**
2"	50,000	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"	37,500	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25,400	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	386,0	14,71%	14,71%	85,29%
3/8"	9,525	932,0	35,52%	50,23%	49,77%
N°4	4,760	1065,5	40,61%	90,83%	9,17%
N°8	2,380	164,0	6,25%	97,08%	2,92%
Fondo		76,5	2,92%	100,00%	0,00%
TOTAL		2624,0	100,00%		

Nota: Elaboración propia

La tabla presentada corresponde al análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra de cantera La Poderosa, fracción 1. El peso inicial de la muestra es de 2628,5 gramos, y el análisis incluye el peso retenido, el porcentaje retenido y el porcentaje pasante a través de los diferentes tamices.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En primer lugar, se observa que los tamices con aperturas mayores a 1/2" (2", 1 1/2", 1", 3/4") no retuvieron material, lo que sugiere que el agregado de esta muestra es principalmente grueso, y el material es más grande que las aperturas de estos tamices. Sin embargo, a partir del tamiz de 1/2" (apertura de 12,700 mm), se comienza a retener material, con un 14,71% de material retenido. Esto indica que la muestra contiene partículas de mayor tamaño, pero que hay una proporción considerable de material que sigue siendo grueso.

El porcentaje retenido acumulado muestra la distribución del material en los diferentes tamices. En el tamiz de 3/8" (apertura de 9,525 mm), se retuvo un 35,52% del material, lo que representa una gran cantidad de las partículas de la muestra. Esto, combinado con el material retenido en el tamiz N°4 (apertura de 4,760 mm), que retuvo 40,61%, sugiere que el agregado es principalmente grueso y que las partículas más pequeñas se encuentran en una proporción mucho menor.

El porcentaje pasante refleja qué parte del material ha pasado a través de cada tamiz. Para los tamices más grandes (2", 1 1/2", 1", 3/4"), el 100% del material ha pasado, lo que confirma que no hay material de mayor tamaño en estas fracciones. A medida que el tamaño del tamiz disminuye, el porcentaje de material pasante disminuye. En el tamiz N°8 (apertura de 2,380 mm), el 2,92% del material ha pasado, lo que indica que una pequeña proporción de partículas es lo suficientemente pequeña como para pasar a través de los tamices finos.

El total de peso retenido es de 2624,0 gramos, lo que representa el 100% de la muestra, con una diferencia de 4,5 gramos, lo que puede atribuirse a pequeñas pérdidas durante el proceso de tamizado.

En resumen, el análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra muestra que este material es predominantemente grueso, con una alta concentración de material retenido en los tamices N°4 y 3/8", que constituyen aproximadamente el 75% del total del material. Este comportamiento es esperado para un agregado grueso, que se utiliza

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

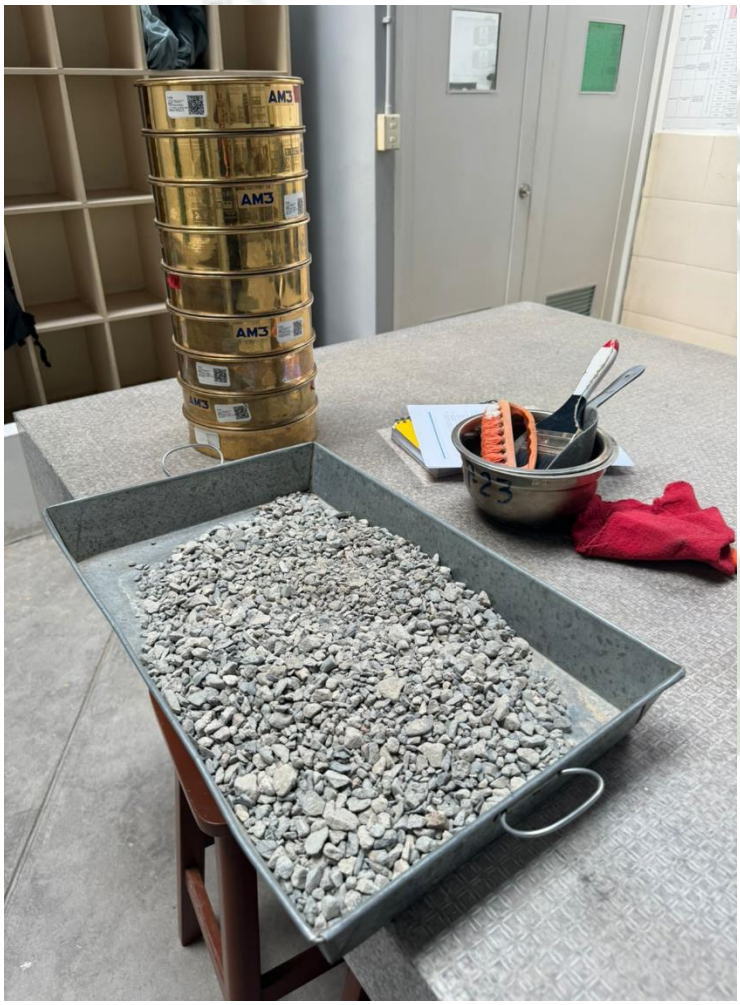
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

comúnmente en la fabricación de mezclas asfálticas y en la construcción de pavimentos, donde se requieren partículas más grandes para proporcionar estabilidad y resistencia. La baja proporción de material retenido en los tamices más finos, como el tamiz N°8, sugiere que el agregado tiene una baja cantidad de material fino, lo cual es favorable en términos de cohesión y estabilidad de la mezcla asfáltica.

Figura 20

Granulometría del agregado grueso



Nota: Elaboración propia

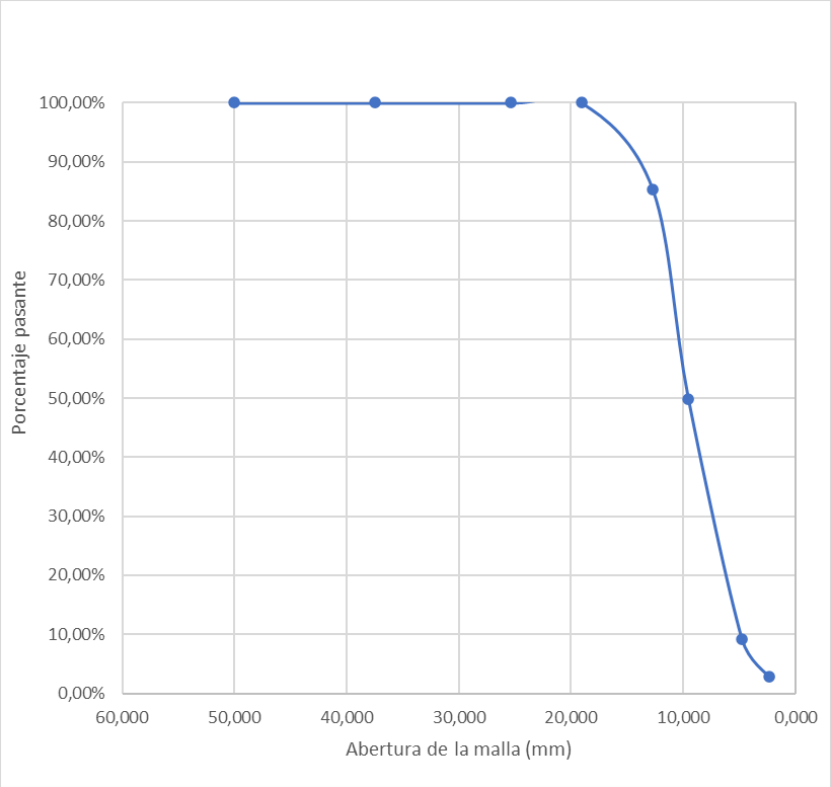
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 21

Curva granulométrica del agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 1



Nota: Elaboración propia

La curva granulométrica mostrada en la figura 15 representa la distribución del agregado grueso de la muestra de cantera La Poderosa, fracción 1. En este gráfico, el porcentaje pasante permanece cercano al 100% para aberturas grandes (superiores a 20 mm), lo que indica que una gran parte del material se compone de partículas gruesas. Al reducirse el tamaño de la malla, se observa una caída pronunciada en el porcentaje de material pasante, que se estabiliza en niveles bajos a medida que se alcanzan mallas más finas, cercanas a 10 mm.

Este comportamiento es característico de los agregados gruesos, que tienen una mayor proporción de partículas grandes, con una caída rápida en el porcentaje pasante a medida que se disminuye el tamaño de la malla. La pendiente de la curva sugiere una

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

transición abrupta entre los tamaños de partículas grandes y medianas, lo que es común en este tipo de agregados. Esta distribución afecta la mezcla del concreto, influenciando tanto la trabajabilidad como la resistencia final del material.

4.1.2.2. Muestra de cantera la poderosa fracción 2.

Tabla 16

Análisis granulométrico de agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 2

Peso inicial			2598,5		
Tamiz	**Abertura**	**Peso retenido (g)**	**% Retenido**	**% Retenido acumulado**	**% Pasante**
2"	50,000	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"	37,500	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25,400	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	339,0	13,06%	13,06%	86,94%
3/8"	9,525	988,0	38,07%	51,13%	48,87%
N°4	4,760	1028,5	39,63%	90,75%	9,25%
N°8	2,380	170,5	6,57%	97,32%	2,68%
Fondo		69,5	2,68%	100,00%	0,00%
TOTAL		2595,5	100,00%		

Nota: Elaboración propia

La tabla presentada corresponde al análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra de cantera La Poderosa, fracción 2. El peso inicial de la muestra es de 2598,5 gramos, y el análisis incluye el peso retenido, el porcentaje retenido, el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje pasante a través de los diferentes tamices.

En primer lugar, se observa que los tamices con aperturas mayores a 1/2" (2", 1 1/2", 1", 3/4") no retuvieron material, lo que indica que el agregado de esta muestra tiene partículas gruesas y que no hay material retenido en estas fracciones más grandes. A partir del tamiz de 1/2" (apertura de 12,700 mm), el material comenzó a ser retenido, con un 13,06% de material retenido. Este porcentaje sugiere que la muestra contiene partículas grandes, pero también tiene una buena proporción de material más fino.

El porcentaje retenido acumulado muestra cómo se distribuye el material en los tamices. En el tamiz de 3/8" (apertura de 9,525 mm), se retuvo un 38,07% del material, lo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

que representa una cantidad significativa de la muestra. Este comportamiento es similar al de la fracción anterior, con una gran parte del material retenido en las fracciones más grandes. En el tamiz N°4 (apertura de 4,760 mm), el material retenido alcanzó el 39,63%, lo que también indica que la mayor parte del material tiene tamaños de partículas mayores a este tamiz.

El porcentaje pasante refleja qué parte del material ha pasado a través de cada tamiz. En los tamices más grandes (2", 1 1/2", 1", 3/4"), el 100% del material ha pasado, lo que indica que el agregado no contiene partículas gruesas en estas fracciones. Sin embargo, en los tamices más pequeños, como el tamiz N°8 (apertura de 2,380 mm), el 2,68% del material ha pasado, lo que indica que una pequeña proporción de partículas es lo suficientemente pequeña para pasar a través de estos tamices.

El total de peso retenido es de 2595,5 gramos, lo que representa el 100% de la muestra, con una diferencia de 3 gramos entre el peso inicial y el peso retenido, lo que podría explicarse por pequeñas pérdidas durante el proceso de tamizado.

En resumen, el análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra muestra que este material es predominantemente grueso, con una alta concentración de material retenido en los tamices N°4 y 3/8", que constituyen aproximadamente el 80% del total del material. Este comportamiento es esperado para un agregado grueso, utilizado comúnmente en mezclas asfálticas o en la construcción de pavimentos. La baja proporción de material retenido en los tamices más finos, como el tamiz N°8, sugiere que este agregado tiene una baja cantidad de material fino, lo cual es beneficioso para asegurar una buena cohesión y estabilidad en las mezclas asfálticas.

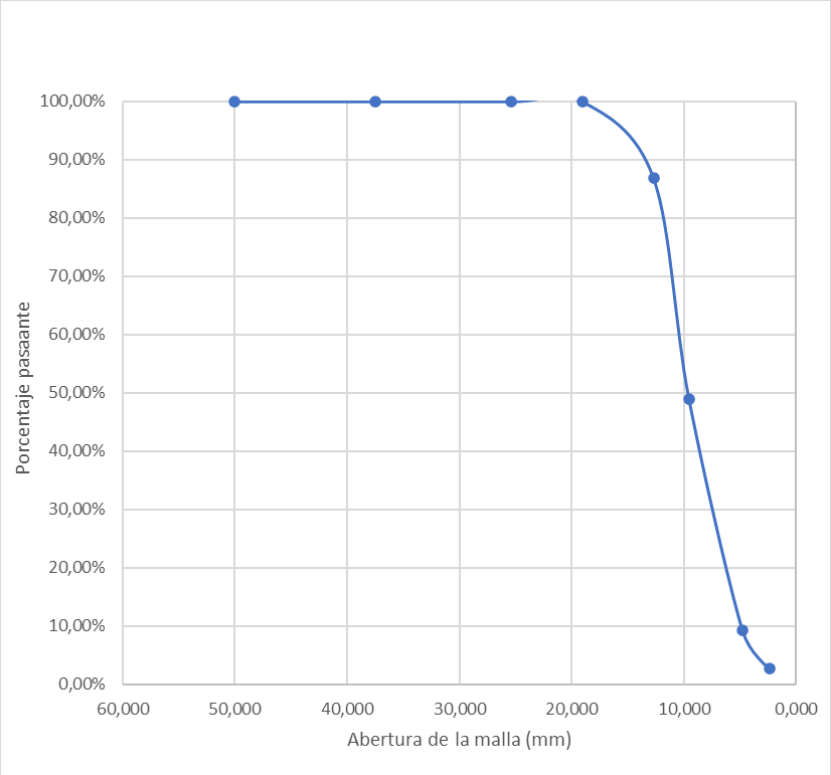
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 22

Curva granulométrica del agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 2



Nota: Elaboración propia

La curva granulométrica mostrada en la figura 16 representa la distribución del agregado grueso de la muestra de cantera La Poderosa, fracción 2. Al igual que en las otras fracciones gruesas, el porcentaje pasante se mantiene cerca del 100% para aberturas grandes (superiores a 20 mm), lo que indica que las partículas mayores dominan la composición del agregado. Sin embargo, a medida que la abertura de la malla disminuye, la curva muestra una caída abrupta en el porcentaje pasante, estabilizándose en valores muy bajos para mallas finas (inferiores a 10 mm).

Este comportamiento refleja una transición rápida entre partículas gruesas y medianas, lo que es característico de los agregados gruesos. La pendiente pronunciada de la curva indica que el material tiene una alta concentración de partículas grandes, lo cual

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

influye en propiedades como la resistencia y la trabajabilidad del concreto. Este tipo de distribución granulométrica puede ser adecuado para ciertos tipos de mezclas de concreto, especialmente en aplicaciones que requieren una mayor resistencia y menos fineza en la mezcla.

4.1.2.3. Muestra de cantera la poderosa fracción 3.

Tabla 17

Análisis granulométrico de agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 3

Peso inicial			2570		
Tamiz	**Abertura**	**Peso retenido (g)**	**% Retenido**	**% Retenido acumulado**	**% Pasante**
2"	50,000	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"	37,500	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25,400	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	358,0	13,95%	13,95%	86,05%
3/8"	9,525	965,0	37,61%	51,57%	48,43%
N°4	4,760	991,0	38,63%	90,20%	9,80%
N°8	2,380	163,5	6,37%	96,57%	3,43%
Fondo		88,0	3,43%	100,00%	0,00%
TOTAL		2565,5	100,00%		

Nota: Elaboración propia

La tabla presentada corresponde al análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra de cantera La Poderosa, fracción 3. El peso inicial de la muestra es de 2570 gramos, y en ella se determinan el peso retenido, el porcentaje retenido, el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje pasante a través de los diferentes tamices.

En primer lugar, se observa que los tamices con aperturas mayores a 1/2" (2", 1 1/2", 1", 3/4") no retuvieron material, lo que indica que la muestra está compuesta principalmente por partículas gruesas. A partir del tamiz de 1/2" (apertura de 12,700 mm), se retuvo un 13,95% del material, lo que sugiere que la muestra tiene una buena cantidad de material de mayor tamaño.

El porcentaje retenido acumulado muestra cómo se distribuye el material en los diferentes tamices. En el tamiz de 3/8" (apertura de 9,525 mm), se retuvo un 37,61% del

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

material, lo que representa una gran parte de la muestra. Este comportamiento es consistente con el de las fracciones anteriores, donde las partículas de mayor tamaño dominan la distribución. En el tamiz N°4 (apertura de 4,760 mm), el material retenido alcanzó el 38,63%, lo que indica que una gran parte del material tiene un tamaño mayor a este tamiz.

El porcentaje pasante muestra qué parte del material ha pasado a través de cada tamiz. En los tamices más grandes (2", 1 1/2", 1", 3/4"), el 100% del material ha pasado, lo que confirma que no hay material grueso en estas fracciones. A medida que los tamices se hacen más pequeños, el porcentaje de material que pasa disminuye. En el tamiz N°8 (apertura de 2,380 mm), el 3,43% del material pasó, lo que indica que una pequeña proporción de partículas son lo suficientemente pequeñas como para pasar a través de este tamiz.

El total de peso retenido es de 2565,5 gramos, lo que representa el 100% de la muestra, con una diferencia de 4,5 gramos en comparación con el peso inicial, lo cual puede ser explicado por pequeñas pérdidas durante el proceso de tamizado.

En resumen, el análisis granulométrico de esta muestra muestra que el agregado grueso de la cantera La Poderosa, fracción 3, es predominantemente grueso, con una alta concentración de material retenido en los tamices N°4 y 3/8", que constituyen aproximadamente el 76% del total del material. Este comportamiento es típico para un agregado grueso, que es adecuado para su uso en mezclas asfálticas y en la construcción de pavimentos. La baja proporción de material retenido en los tamices más finos, como el tamiz N°8, sugiere que este agregado tiene una baja cantidad de material fino, lo cual es favorable para garantizar una buena estabilidad y cohesión en la mezcla asfáltica.

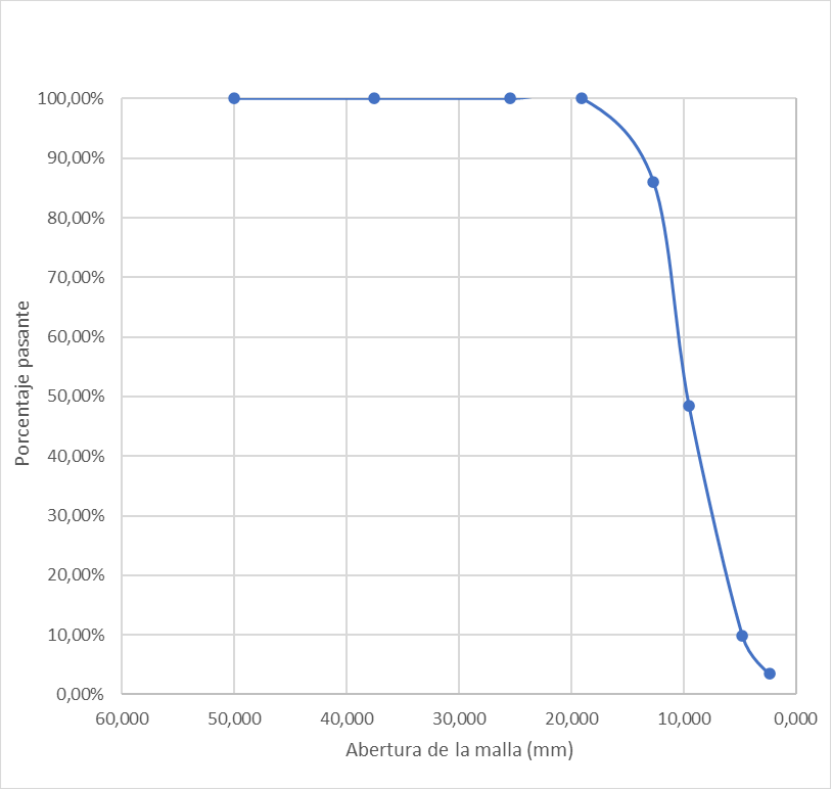
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 23

Curva granulométrica del agregado grueso de muestra de cantera la poderosa fracción 3



Nota: Elaboración propia

La curva granulométrica de la figura 17 corresponde al agregado grueso de la muestra de cantera La Poderosa, fracción 3. En este gráfico, se observa que el porcentaje pasante se mantiene cercano al 100% para las aberturas de malla grandes (superiores a 20 mm), lo que indica que las partículas de mayor tamaño predominan en esta fracción. A medida que se reduce el tamaño de la malla, la curva muestra una caída pronunciada en el porcentaje pasante, estabilizándose en valores bajos para las mallas finas (inferiores a 10 mm).

Este comportamiento es común en los agregados gruesos, donde la mayoría de las partículas tienen tamaños más grandes, y solo una pequeña fracción pasa a través de las mallas más finas. La pendiente pronunciada indica una transición rápida entre las partículas grandes y medianas. Esta distribución es adecuada para aplicaciones en concreto donde se

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

requiere mayor resistencia y se prefiere un material con menos contenido de finos, lo que podría influir positivamente en la durabilidad y la resistencia de la mezcla.

4.1.2.4. Muestra de cantera la poderosa promedio.

Tabla 18

Análisis granulométrico de agregado grueso de muestra de cantera la poderosa promedio

Peso inicial					
Tamiz	**Abertura**	**Peso retenido (g)**	**% Retenido**	**% Retenido acumulado**	**% Pasante**
2"	50,000	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"	37,500	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25,400	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	361,0	13,91%	13,91%	86,09%
3/8"	9,525	961,7	37,06%	50,97%	49,03%
N°4	4,760	1028,3	39,63%	90,60%	9,40%
N°8	2,380	166,0	6,40%	96,99%	3,01%
Fondo		78,0	3,01%	100,00%	0,00%
TOTAL		2595,0	100,00%		

Nota: Elaboración propia

La tabla presentada corresponde al análisis granulométrico promedio del agregado grueso de la muestra de cantera La Poderosa. En este caso, el peso inicial de la muestra no se especifica, pero se incluye el análisis de los pesos retenidos, los porcentajes retenidos, los porcentajes retenidos acumulados y los porcentajes pasantes a través de los diferentes tamices.

En primer lugar, se observa que los tamices con aperturas mayores a 1/2" (2", 1 1/2", 1", 3/4") no retuvieron material, lo que indica que el agregado en estas fracciones es completamente grueso y que no contiene partículas finas que sean retenidas por estos tamices. A partir del tamiz de 1/2" (apertura de 12,700 mm), se retuvo un 13,91% del material, lo que sugiere que la muestra tiene partículas de mayor tamaño, pero también contiene una proporción considerable de material más fino.

El porcentaje retenido acumulado muestra cómo se distribuye el material a través de los diferentes tamices. En el tamiz de 3/8" (apertura de 9,525 mm), se retuvo el 37,06% del

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

material, lo que representa una parte importante del agregado. Este comportamiento es consistente con el de otras fracciones gruesas, donde las partículas más grandes predominan en la muestra. En el tamiz N°4 (apertura de 4,760 mm), el material retenido alcanzó el 39,63%, lo que confirma que el material principal tiene tamaños de partículas mayores a este tamiz.

El porcentaje pasante indica qué parte del material ha pasado a través de cada tamiz. En los tamices más grandes (2", 1 1/2", 1", 3/4"), el 100% del material ha pasado, lo que confirma que no hay partículas de gran tamaño en estas fracciones. A medida que los tamices se hacen más pequeños, el porcentaje de material que pasa disminuye. En el tamiz N°8 (apertura de 2,380 mm), el 3,01% del material pasó, lo que indica que una pequeña proporción de partículas son lo suficientemente finas como para pasar a través de este tamiz.

El total de peso retenido es de 2595 gramos, lo que representa el 100% de la muestra. La diferencia con el peso inicial podría explicarse por pequeñas pérdidas durante el proceso de tamizado.

En resumen, el análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra muestra que este material es predominantemente grueso, con una alta concentración de material retenido en los tamices N°4 y 3/8", que constituyen aproximadamente el 76% del total del material. Este comportamiento es típico de un agregado grueso, adecuado para su uso en mezclas asfálticas y en la construcción de pavimentos, donde se requieren partículas grandes para proporcionar resistencia y estabilidad. La baja proporción de material retenido en los tamices más finos, como el tamiz N°8, sugiere que este agregado tiene una baja cantidad de material fino, lo cual es favorable para asegurar una buena cohesión y estabilidad en la mezcla asfáltica.

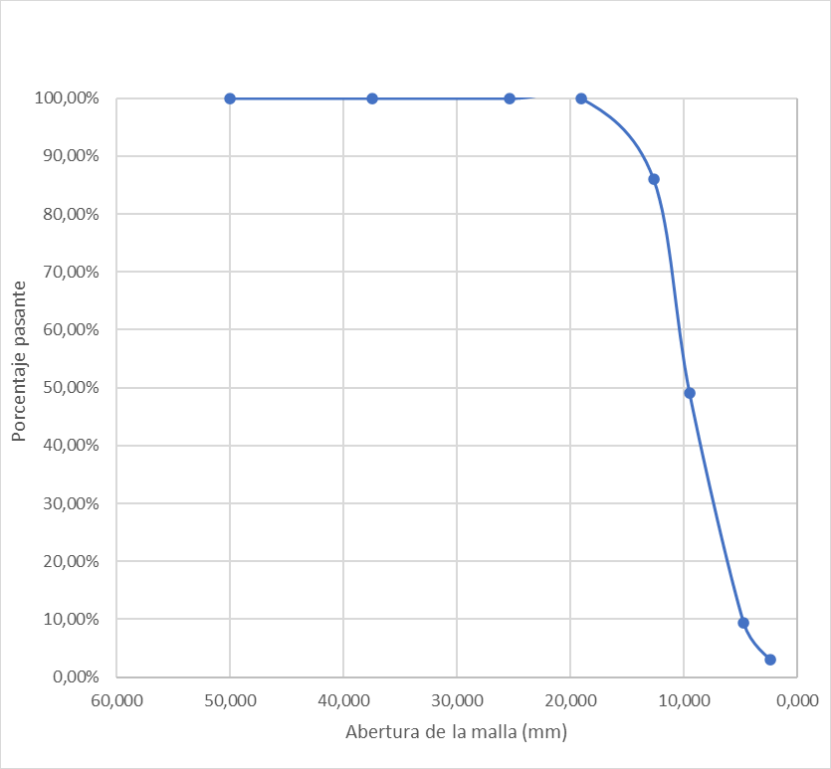
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 24

Curva granulométrica del agregado grueso de muestra de cantera la poderosa promedio



Nota: Elaboración propia

La curva granulométrica mostrada en la figura 18 corresponde al agregado grueso de la muestra de cantera La Poderosa, representando el promedio de las fracciones analizadas. Al igual que las curvas individuales, se observa que el porcentaje pasante se mantiene cerca del 100% para las aberturas de malla grandes (superiores a 20 mm), lo que indica que el material está compuesto principalmente por partículas gruesas. Sin embargo, al disminuir el tamaño de la malla, la curva presenta una caída pronunciada, estabilizándose en valores bajos a medida que se alcanzan las mallas finas (inferiores a 10 mm).

Este patrón es típico de los agregados gruesos, caracterizados por una alta concentración de partículas grandes. La pendiente de la curva indica una transición rápida entre las partículas gruesas y las medianas, lo que es característico en este tipo de materiales. Esta distribución granulométrica tiene un impacto directo en las propiedades del concreto,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

particularmente en su resistencia, trabajabilidad y durabilidad, siendo ideal para aplicaciones donde se requiere mayor resistencia y se prefieren mezclas con menos contenido de finos.

4.1.3. Porcentaje de material más fino que el tamiz n°200

Tabla 19

Porcentaje de material más fino que el tamiz n°200

	Fracción 1	Fracción 2	Fracción 3	Promedio
Peso de la bandeja (g)	146,15	146,15	146,15	
Peso de la bandeja + Muestra seca (g)	1682,86	1708,27	1670,52	
Peso de la muestra seca (g)	1536,71	1562,12	1524,37	
Peso de la bandeja + muestra lavada y secada (g)	1619,75	1654,11	1615,75	
Peso de la muestra lavada y secada (g)	1473,6	1507,96	1469,6	
Pasante de la malla 200 (%)	4,11%	3,47%	3,59%	**3,7%**

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra el porcentaje de material más fino que el tamiz N°200 para las tres fracciones de muestra de cantera La Poderosa, así como el promedio general de todas las fracciones. A continuación, se presenta el análisis detallado basado en los datos proporcionados:

1. Datos de Pesos: Se detallan los diferentes pesos involucrados en el análisis, tales como:
    - Peso de la bandeja: El peso de la bandeja vacía, constante para las tres fracciones (146,15 g).
    - Peso de la bandeja + muestra seca: El peso total de la bandeja con la muestra seca, que varía entre las fracciones (1682,86 g para la fracción 1, 1708,27 g para la fracción 2, y 1670,52 g para la fracción 3).
    - Peso de la muestra seca: El peso de la muestra seca, obtenido restando el peso de la bandeja (1536,71 g para la fracción 1, 1562,12 g para la fracción 2, y 1524,37 g para la fracción 3).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Peso de la bandeja + muestra lavada y secada: El peso de la bandeja con la muestra lavada y secada (1619,75 g para la fracción 1, 1654,11 g para la fracción 2, y 1615,75 g para la fracción 3).
- Peso de la muestra lavada y secada: El peso de la muestra después de haber sido lavada y secada, el cual se calcula restando el peso de la bandeja (1473,6 g para la fracción 1, 1507,96 g para la fracción 2, y 1469,6 g para la fracción 3).

2. Cálculo del Porcentaje Pasante de la Malla 200: El porcentaje de material más fino que pasa a través del tamiz N°200 se calcula con la fórmula:

$$\text{Pasante de la malla 200} = \left(\frac{\text{Peso de la muestra lavada y secada} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}}\right) \times 100$$

Este cálculo se realiza para cada fracción y el promedio general se obtiene a partir de los valores individuales:

Fracción 1:

$$\text{Pasante de la malla 200} = \left(\frac{1473,6 - 1536,71}{1536,71}\right) \times 100 = 4,11\%$$

Fracción 2:

$$\text{Pasante de la malla 200} = \left(\frac{1507,96 - 1562,12}{1562,12}\right) \times 100 = 3,47\%$$

Fracción 3:

$$\text{Pasante de la malla 200} = \left(\frac{1469,6 - 1524,37}{1524,37}\right) \times 100 = 3,59\%$$

Promedio:

$$\text{Promedio} = \frac{4,11\% + 3,47\% + 3,59\%}{3} = 3,7\%$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Conclusión: El análisis muestra que, en promedio, el **3,7%** del material de las tres fracciones es más fino que el tamiz N°200. Este porcentaje es relativamente bajo, lo que indica que la mayor parte del agregado tiene partículas que no pasan a través de este tamiz y, por lo tanto, es un material más grueso, adecuado para aplicaciones donde se requieren partículas de mayor tamaño, como en mezclas asfálticas o en la construcción de pavimentos.

4.1.4. Índice de plasticidad malla n°40

Tabla 20

Índice de plasticidad

Datos	Fracción 1	Fracción 2	Fracción 3	Fracción 4
Número de golpes	30	26	22	24
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	18,17	18,68	18,59	18,47
Peso cápsula + suelo seco (g)	17,00	17,40	17,20	17,16
Peso del agua (g)	1,30	1,10	1,40	1,30
Peso cápsula (g)	11,00	11,00	11,00	11,00
Peso del suelo seco (g)	6,00	6,40	6,20	6,16
Contenido de humedad %	19,50%	20,00%	22,42%	21,27%
Límite líquido	19,93%	20,10%	22,08%	20,95%
Límite plástico	Np	Np	Np	Np
Índice de plasticidad	Np	Np	Np	Np
Límite líquido	**20,88%**			
Límite plástico	**No plástico**			

Nota: Elaboración propia

En la tabla se presentan los datos de índice de plasticidad correspondientes a cuatro fracciones de suelo de la muestra de cantera La Poderosa. El índice de plasticidad es una medida de la plasticidad de un suelo, es decir, de la capacidad que tiene para cambiar de forma sin romperse, y se calcula a partir de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Sin embargo, en este caso, la tabla muestra que el índice de plasticidad no está disponible para las fracciones analizadas (indicadas como Np, que significa "No disponible").

Los datos incluyen el número de golpes realizados durante el ensayo de límite de plasticidad, que varían entre las fracciones (30 para la fracción 1, 26 para la fracción 2, 22

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

para la fracción 3, y 24 para la fracción 4). Estos valores reflejan la cantidad de golpes necesarios para que el suelo pase del estado plástico al semilíquido, lo cual es clave para determinar su comportamiento en diferentes condiciones de humedad.

En cuanto a los pesos de la cápsula y el suelo, se presentan los valores de suelo húmedo y suelo seco para cada fracción, así como el peso del agua. Estos datos se utilizan para calcular el contenido de humedad de cada muestra, que varía entre el 19,50% para la fracción 1 y el 22,42% para la fracción 3. El contenido de humedad es importante ya que influye directamente en las propiedades plásticas y en la capacidad del suelo para moldearse.

Los límites líquidos y límites plásticos también se presentan, con valores que varían entre 19,93% para la fracción 1 y 22,08% para la fracción 3. El límite líquido es el contenido de agua en el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido, mientras que el límite plástico es el contenido de agua en el cual el suelo comienza a mostrar comportamiento plástico. En este caso, no se especifican valores de límite plástico para las fracciones analizadas, lo que indica que no se ha determinado su plasticidad.

Finalmente, se indica que el índice de plasticidad no está disponible para las fracciones, lo cual podría deberse a que no se ha podido calcular el límite plástico para estas muestras. Sin embargo, se menciona que el límite plástico para la muestra general es "No plástico", lo que sugiere que el suelo no presenta características plásticas significativas.

Conclusión:

El análisis muestra que las fracciones del suelo de la cantera La Poderosa tienen un límite líquido variable que refleja la capacidad del suelo para cambiar de forma en función de su contenido de humedad. Sin embargo, el índice de plasticidad no está disponible debido a la falta de datos sobre el límite plástico para las fracciones. Además, el suelo general no muestra características plásticas destacables, ya que se clasifica como "no plástico". Este

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

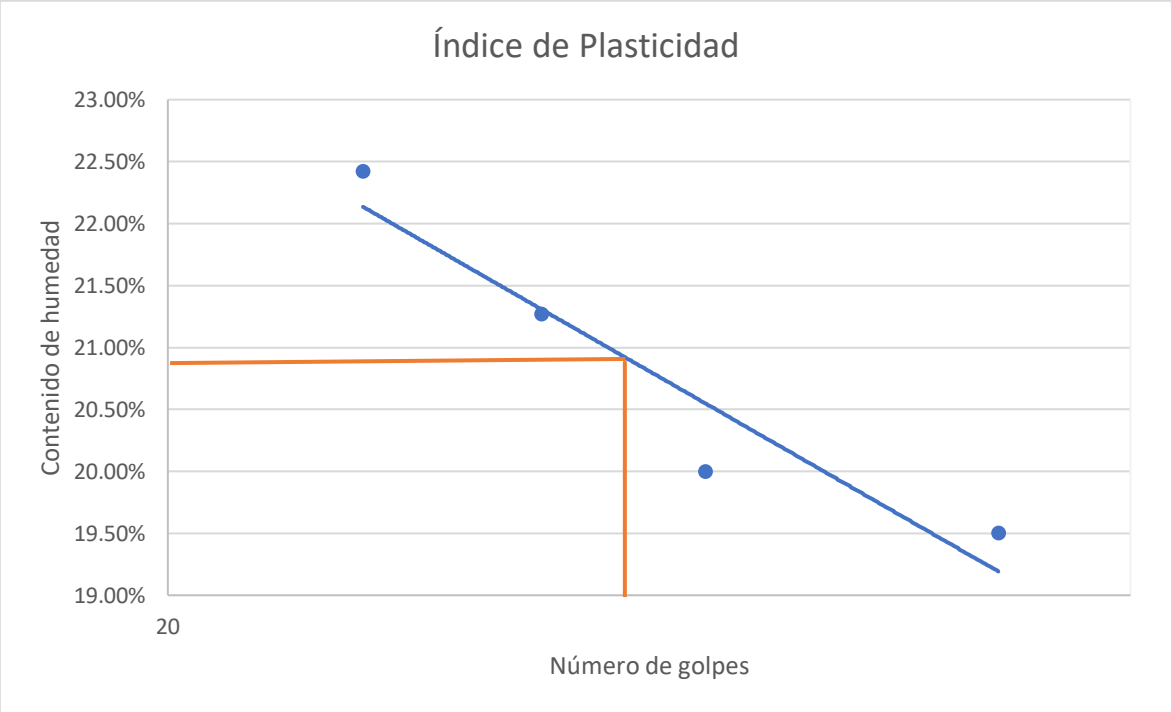
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

tipo de suelos podría ser adecuado para aplicaciones en las que no se requieran características plásticas, como en la construcción de bases y sub-bases de pavimentos.

Figura 25

Índice de plasticidad



Nota: Elaboración propia

La figura 19 muestra el comportamiento del contenido de humedad en función del número de golpes aplicados en la prueba de índice de plasticidad. Se observa que a medida que aumenta el número de golpes, el contenido de humedad disminuye, lo que indica una relación inversa entre estas dos variables. El contenido de humedad inicial es elevado (22.5%) y disminuye con los golpes hasta estabilizarse en un valor alrededor del 19.5%. Este tipo de prueba se utiliza para determinar la plasticidad de un suelo, y la línea que conecta los puntos representa la variación del contenido de humedad con el número de golpes.

El segmento naranja indica el número de golpes donde se observa un cambio notable en la tendencia, lo que podría ser interpretado como el punto de transición entre una zona plástica y una zona más rígida o no plástica del material. Este tipo de análisis es importante

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

para entender las propiedades del suelo, ya que el índice de plasticidad es crucial para determinar la comportabilidad de los materiales en condiciones de humedad variable, especialmente en aplicaciones de ingeniería de suelos y cimentaciones.

4.1.5. Partículas chatas y alargadas

Tabla 21

Partículas chatas y alargadas

Muestra cantera la poderosa fracción 1									
Tamaño del agregado		**% Retenido con gradación original**	**Peso partículas de muestra (g)**	**Partículas chatas**			**Partículas alargadas**		
Pasa tamiz	**Retiene tamiz**			**Peso (g)**	**%**	**% corregido**	**Peso (g)**	**%**	**% corregido**
1"	3/4"	0,00%	0,00	0,00					
3/4"	1/2"	75,44%	2814,00	102,50	3,64%	2,75%	56,10	1,99%	1,50%
1/2"	3/8"	24,56%	916,00	38,50	4,20%	1,03%	21,50	2,35%	0,58%
Total		100,00%	3730,00			3,78%			2,08%
% partículas chatas y alargadas								**5,86%**	
Muestra cantera la poderosa fracción 2									
Tamaño del agregado		**% Retenido con gradación original**	**Peso partículas de muestra (g)**	**Partículas chatas**			**Partículas alargadas**		
Pasa tamiz	**Retiene tamiz**			**Peso (g)**	**%**	**% corregido**	**Peso (g)**	**%**	**% corregido**
1"	3/4"	0,00%	0,00	0,00					
3/4"	1/2"	71,05%	2536,50	111,50	4,40%	3,12%	69,00	2,72%	1,93%
1/2"	3/8"	28,95%	1033,50	35,50	3,43%	0,99%	30,50	2,95%	0,85%
Total		100,00%	3570,00			4,12%			2,79%
% partículas chatas y alargadas								**6,90%**	
Muestra cantera la poderosa fracción 3									
Tamaño del agregado		**% Retenido con gradación original**	**Peso partículas de muestra (g)**	**Partículas chatas**			**Partículas alargadas**		
Pasa tamiz	**Retiene tamiz**			**Peso (g)**	**%**	**% corregido**	**Peso (g)**	**%**	**% corregido**
1"	3/4"	0,00%	0,00	0,00					
3/4"	1/2"	72,88%	2756,50	121,50	4,41%	3,21%	63,50	2,30%	1,68%
1/2"	3/8"	27,12%	1026,00	48,50	4,73%	1,28%	34,00	3,31%	0,90%
Total		100,00%	3782,50			4,49%			2,58%
% partículas chatas y alargadas								**7,07%**	
Promedio								**6,61%**	

Nota: Elaboración propia

En la tabla se muestran los resultados del análisis de partículas chatas y alargadas para tres fracciones de muestra de cantera La Poderosa. Este análisis es importante para evaluar la forma de las partículas del agregado, ya que las partículas alargadas y chatas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

pueden afectar las propiedades de la mezcla, como la compacidad y la resistencia del material en aplicaciones como la fabricación de concretos o mezclas asfálticas.

Para la fracción 1, el porcentaje retenido en los tamices de 1" y 3/4" muestra que la mayor parte del material se encuentra en el tamiz de 3/4", con un 75,44% de la muestra retenida en este tamiz. De esta fracción, el material chato representa el 3,64% y el material alargado el 2,75%, lo que da un total de 5,86% de partículas chatas y alargadas en la muestra. Este porcentaje es relativamente bajo, lo que indica que la mayoría de las partículas en esta fracción no presentan una forma particularmente chata o alargada.

En la fracción 2, el porcentaje retenido en el tamiz de 3/4" es 71,05%, y en el tamiz de 1/2" es 28,95%. De este material, el 4,40% corresponde a partículas chatas, y el 2,72% corresponde a partículas alargadas, sumando un total de 6,90% de partículas chatas y alargadas. Este porcentaje es más alto que el de la fracción 1, lo que indica que una mayor proporción de partículas en esta fracción tienen formas chatas o alargadas.

Para la fracción 3, el material retenido en el tamiz de 3/4" es 72,88%, y en el tamiz de 1/2" es 27,12%. De este material, el 4,41% es chato, y el 2,30% es alargado, lo que da un total de 7,07% de partículas chatas y alargadas. Este porcentaje es el más alto entre las tres fracciones, lo que sugiere que esta fracción contiene una mayor proporción de partículas con formas no ideales para ciertas aplicaciones.

El promedio de las partículas chatas y alargadas en las tres fracciones es 6,61%, lo que indica que, en general, aproximadamente el 6,6% del agregado de cantera La Poderosa tiene formas chatas o alargadas.

El análisis de partículas chatas y alargadas indica que, en promedio, alrededor del 6,6% del agregado de las tres fracciones tiene formas que podrían afectar la eficiencia y la durabilidad de las mezclas en las que se utiliza este material. Aunque los porcentajes no son extremadamente altos, es importante considerar la cantidad de material chato y alargado, ya

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

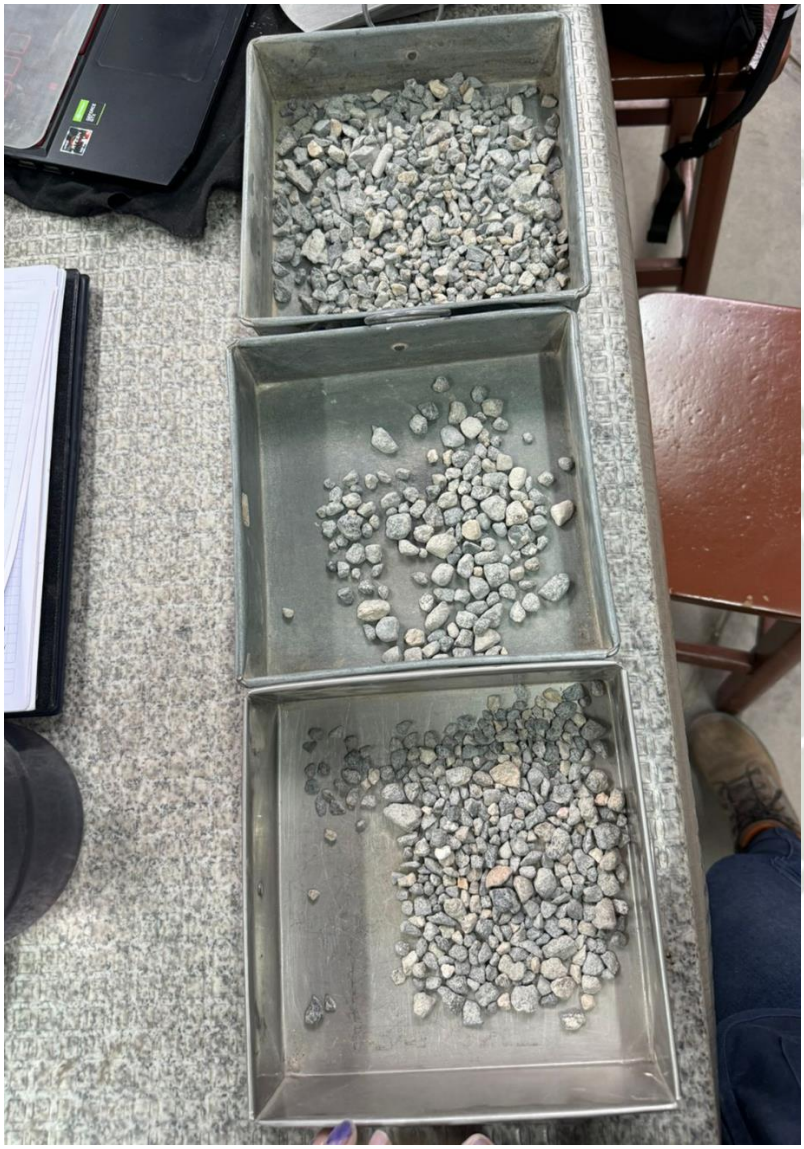
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

que las partículas con estas formas pueden disminuir la resistencia y estabilidad de las mezclas de concreto o asfalto.

Figura 26

Ensayo de partículas chatas y alargadas



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.6. Caras fracturadas – Agregado grueso – Método B

Tabla 22

Caras fracturadas del agregado grueso (una cara fracturada)

Muestra de cantera la poderosa - fracción 1						
Tamices		**Peso total retenido (a)**	**Peso de material (b)**	**% caras fracturadas (c)**	**Escala original (d)**	**% caras fracturadas (e)**
Pasa	**Retiene**					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	69,0	47,0	68,12%	6,75%	4,60%
1/2"	3/8"	756,0	672,5	88,96%	74,01%	65,83%
3/8"	N°4	196,5	168,5	85,75%	19,24%	16,50%
Total		1021,5	888,0	242,82%	100,00%	**86,93%**
Muestra de cantera la poderosa - fracción 2						
Tamices		**Peso total retenido (a)**	**Peso de material (b)**	**% caras fracturadas (c)**	**Escala original (d)**	**% caras fracturadas (e)**
Pasa	**Retiene**					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	75,0	53,5	71,33%	6,70%	4,78%
1/2"	3/8"	824,5	746,5	90,54%	73,68%	66,71%
3/8"	N°4	219,5	175,0	79,73%	19,62%	15,64%
Total		1119,0	975,0	241,60%	100,00%	**87,13%**
Muestra de cantera la poderosa - fracción 3						
Tamices		**Peso total retenido (a)**	**Peso de material (b)**	**% caras fracturadas (c)**	**Escala original (d)**	**% caras fracturadas (e)**
Pasa	**Retiene**					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	81,0	52,5	64,81%	7,06%	4,57%
1/2"	3/8"	853,5	802,0	93,97%	74,35%	69,86%
3/8"	N°4	213,5	157,5	73,77%	18,60%	13,72%
Total		1148,0	1012,0	232,55%	100,00%	**88,15%**
Promedio					**87,41%**	

Nota: Elaboración propia

En la tabla se presentan los resultados del análisis de caras fracturadas del agregado grueso para tres fracciones de la muestra de cantera La Poderosa. Este análisis es importante para evaluar la calidad del material, ya que las partículas con caras fracturadas generalmente mejoran la adherencia y la resistencia en las mezclas de concreto o asfalto. A continuación, se realiza un análisis detallado de los resultados para cada fracción:

Para la fracción 1, se observan los siguientes datos de retención y porcentaje de caras fracturadas:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- En el tamiz de 3/4" a 1/2", el 68,12% de las partículas presentan caras fracturadas, lo que corresponde a 4,60% de las partículas retenidas en esta fracción.
- En el tamiz de 1/2" a 3/8", se registra un 88,96% de caras fracturadas, lo que representa 65,83% de las partículas retenidas en este tamiz.
- En el tamiz de 3/8" a N°4, el 85,75% de las partículas tienen caras fracturadas, representando 16,50% de las partículas retenidas.

El porcentaje total de caras fracturadas en esta fracción es 86,93%, lo que indica que la mayor parte del agregado tiene una cantidad significativa de caras fracturadas, lo que es favorable para su uso en mezclas de concreto o asfalto, ya que mejora la adherencia entre las partículas.

En la fracción 2, los resultados muestran:

- En el tamiz de 3/4" a 1/2", el 71,33% de las partículas presentan caras fracturadas, lo que representa 4,78% de las partículas retenidas.
- En el tamiz de 1/2" a 3/8", el 90,54% de las partículas tienen caras fracturadas, lo que equivale a 66,71% de las partículas retenidas.
- En el tamiz de 3/8" a N°4, el 79,73% de las partículas presentan caras fracturadas, representando 15,64% de las partículas retenidas.

El porcentaje total de caras fracturadas en esta fracción es 87,13%, lo que refleja que una gran parte del material tiene caras fracturadas, lo que es positivo para su uso en aplicaciones donde la resistencia y adherencia son factores importantes.

Para la fracción 3, se obtienen los siguientes resultados:

- En el tamiz de 3/4" a 1/2", el 64,81% de las partículas tienen caras fracturadas, lo que representa 4,57% de las partículas retenidas.
- En el tamiz de 1/2" a 3/8", el 93,97% de las partículas presentan caras fracturadas, lo que equivale a 69,86% de las partículas retenidas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- En el tamiz de 3/8" a N°4, el 73,77% de las partículas tienen caras fracturadas, representando 13,72% de las partículas retenidas.

El porcentaje total de caras fracturadas en esta fracción es 88,15%, el valor más alto de las tres fracciones analizadas, lo que indica que esta fracción tiene la mayor proporción de partículas con caras fracturadas, lo que es excelente para garantizar la resistencia y adherencia en las mezclas.

El promedio total de caras fracturadas de las tres fracciones es 87,41%, lo que sugiere que la muestra de cantera La Poderosa tiene una alta calidad en términos de la proporción de partículas con caras fracturadas, lo que es altamente favorable para su uso en aplicaciones de construcción de pavimentos y mezclas asfálticas o de concreto.

El análisis muestra que las partículas de las tres fracciones de la muestra de cantera La Poderosa tienen una alta proporción de caras fracturadas, especialmente en las fracciones más pequeñas, lo que mejora la cohesión y la resistencia en las mezclas. El promedio del 87,41% de caras fracturadas en las tres fracciones indica que el material tiene una excelente calidad para aplicaciones en las que se requiere alta resistencia y adherencia, como en la fabricación de concretos y mezclas asfálticas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 23

Caras fracturadas del agregado grueso (dos o más caras fracturadas)

Muestra de cantera la poderosa - fracción 1						
Tamices		Peso total retenido (a)	Peso de material (b)	% caras fracturadas (c)	Escala original (d)	% caras fracturadas (e)
Pasa	Retiene					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	69,0	12,0	17,39%	6,75%	1,17%
1/2"	3/8"	756,0	501,5	66,34%	74,01%	49,09%
3/8"	N°4	196,5	107,5	54,71%	19,24%	10,52%
Total		1021,5	621,0	138,43%	100,00%	**60,79%**
Muestra de cantera la poderosa - fracción 2						
Tamices		Peso total retenido (a)	Peso de material (b)	% caras fracturadas (c)	Escala original (d)	% caras fracturadas (e)
Pasa	Retiene					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	75,0	22,0	29,33%	6,70%	1,97%
1/2"	3/8"	824,5	514,5	62,40%	73,68%	45,98%
3/8"	N°4	219,5	121,0	55,13%	19,62%	10,81%
Total		1119,0	657,5	146,86%	100,00%	**58,76%**
Muestra de cantera la poderosa - fracción 3						
Tamices		Peso total retenido (a)	Peso de material (b)	% caras fracturadas (c)	Escala original (d)	% caras fracturadas (e)
Pasa	Retiene					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	81,0	24,5	30,25%	7,06%	2,13%
1/2"	3/8"	853,5	537,0	62,92%	74,35%	46,78%
3/8"	N°4	213,5	102,0	47,78%	18,60%	8,89%
Total		1148,0	663,5	140,94%	100,00%	**57,80%**
Promedio					**59,12%**	

Nota: Elaboración propia

En la tabla se presentan los resultados del análisis de partículas con dos o más caras fracturadas del agregado grueso para tres fracciones de la muestra de cantera La Poderosa. Este análisis es relevante ya que las partículas con varias caras fracturadas ofrecen una mayor interconexión entre ellas, lo que mejora la compacidad y la estabilidad de las mezclas asfálticas o de concreto.

Para la fracción 1, los resultados muestran lo siguiente:

- En el tamiz de 3/4" a 1/2", el 17,39% de las partículas tienen dos o más caras fracturadas, lo que representa 1,17% de las partículas retenidas en este tamiz.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- En el tamiz de 1/2" a 3/8", el 66,34% de las partículas tienen dos o más caras fracturadas, lo que corresponde a 49,09% de las partículas retenidas en este tamiz.
- En el tamiz de 3/8" a N°4, el 54,71% de las partículas presentan dos o más caras fracturadas, representando 10,52% de las partículas retenidas.

El porcentaje total de partículas con dos o más caras fracturadas en esta fracción es 60,79%, lo que indica que una gran parte del material tiene partículas con una estructura más interconectada, lo cual es favorable para la estabilidad y resistencia en las mezclas.

En la fracción 2, los resultados son los siguientes:

- En el tamiz de 3/4" a 1/2", el 29,33% de las partículas presentan dos o más caras fracturadas, lo que representa 1,97% de las partículas retenidas.
- En el tamiz de 1/2" a 3/8", el 62,40% de las partículas tienen dos o más caras fracturadas, lo que corresponde a 45,98% de las partículas retenidas.
- En el tamiz de 3/8" a N°4, el 55,13% de las partículas presentan dos o más caras fracturadas, representando 10,81% de las partículas retenidas.

El porcentaje total de partículas con dos o más caras fracturadas en esta fracción es 58,76%, lo que también muestra una buena proporción de material con características de mayor adherencia y estabilidad.

Para la fracción 3, se observan los siguientes datos:

- En el tamiz de 3/4" a 1/2", el 30,25% de las partículas tienen dos o más caras fracturadas, lo que representa 2,13% de las partículas retenidas en este tamiz.
- En el tamiz de 1/2" a 3/8", el 62,92% de las partículas presentan dos o más caras fracturadas, lo que corresponde a 46,78% de las partículas retenidas.
- En el tamiz de 3/8" a N°4, el 47,78% de las partículas tienen dos o más caras fracturadas, representando 8,89% de las partículas retenidas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El porcentaje total de partículas con dos o más caras fracturadas en esta fracción es 57,80%, indicando que más de la mitad del material tiene características de mayor interconexión, lo que favorece la resistencia y la cohesión en las mezclas.

El promedio total de partículas con dos o más caras fracturadas para las tres fracciones es 59,12%, lo que muestra una alta calidad en términos de la cantidad de material con partículas que tienen varias caras fracturadas.

El análisis de las partículas con dos o más caras fracturadas revela que las tres fracciones de la muestra de cantera La Poderosa tienen una alta proporción de material con partículas interconectadas. El promedio de 59,12% de partículas con dos o más caras fracturadas es favorable para las aplicaciones de concreto y mezclas asfálticas, ya que estas partículas ofrecen mejor adherencia y estabilidad en las mezclas. En general, el material de esta cantera es adecuado para usos que requieren resistencia y durabilidad, como la construcción de pavimentos y estructuras de concreto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.7. Agregado fino – Equivalente de arena

Tabla 24

Agregado fino – Equivalente de arena

Muestra cantera la poderosa - fracción 1	
Inicio periodo de humedecimiento	14:43
Fin periodo de humedecimiento	14:53
Inicio periodo de sedimentación	14:55
Fin periodo de sedimentación	15:15
Altura de arcilla (plg)	5,10
Altura de arcilla (mm)	124,95
Altura de arena (plg)	4,55
Altura de arena (mm)	111,48
Equivalente de arena	89,22%
Total	**90%**
Muestra cantera la poderosa - fracción 2	
Inicio periodo de humedecimiento	14:46
Fin periodo de humedecimiento	14:56
Inicio periodo de sedimentación	14:57
Fin periodo de sedimentación	15:17
Altura de arcilla (plg)	5,35
Altura de arcilla (mm)	131,08
Altura de arena (plg)	4,50
Altura de arena (mm)	110,25
Equivalente de arena	84,11%
Total	**85%**
Muestra cantera la poderosa - fracción 3	
Inicio periodo de humedecimiento	14:49
Fin periodo de humedecimiento	14:59
Inicio periodo de sedimentación	15:02
Fin periodo de sedimentación	15:22
Altura de arcilla (plg)	5,15
Altura de arcilla (mm)	126,18
Altura de arena (plg)	4,40
Altura de arena (mm)	107,80
Equivalente de arena	85,44%
Total	**86%**
Promedio	**87%**

Nota: Elaboración propia

En la tabla se presentan los resultados del análisis de partículas con dos o más caras fracturadas del agregado grueso para tres fracciones de la muestra de cantera La Poderosa. Este análisis es fundamental, ya que las partículas con varias caras fracturadas tienen una mayor capacidad de interconexión, lo que mejora la compacidad y la estabilidad de las mezclas, particularmente en aplicaciones de concreto o mezclas asfálticas, donde la resistencia es clave.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

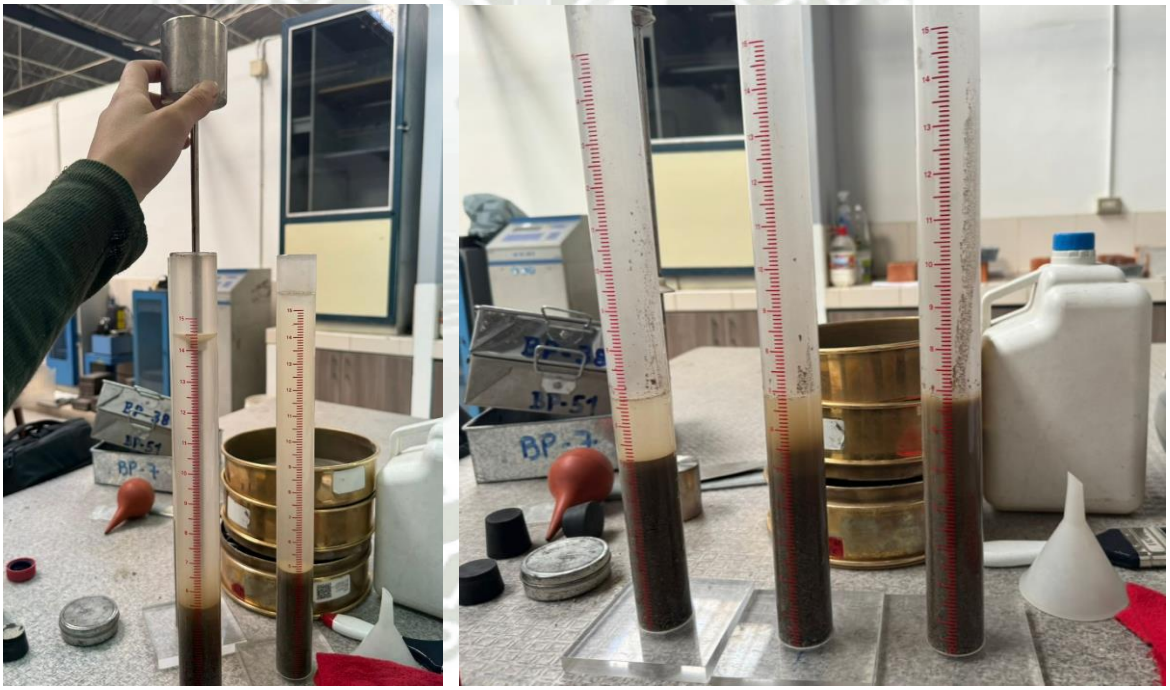
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para la fracción 1, los resultados indican que en el tamiz de 3/4" a 1/2", el 17,39% de las partículas tienen dos o más caras fracturadas, lo que representa 1,17% de las partículas retenidas en este tamiz. En el tamiz de 1/2" a 3/8", este porcentaje sube al 66,34%, representando el 49,09% de las partículas retenidas. Finalmente, en el tamiz de 3/8" a N°4, el 54,71% de las partículas presentan dos o más caras fracturadas, lo que representa el 10,52% de las partículas retenidas. En total, el 60,79% de las partículas de esta fracción presentan características de mayor interconexión, lo que es favorable para la estabilidad y resistencia de las mezclas.

Figura 27

Ensayo de equivalente de arena



Nota: Elaboración propia

En la fracción 2, el análisis muestra que en el tamiz de 3/4" a 1/2", el 29,33% de las partículas tienen dos o más caras fracturadas, lo que equivale al 1,97% de las partículas retenidas. En el tamiz de 1/2" a 3/8", el 62,40% de las partículas presentan dos o más caras fracturadas, representando el 45,98% de las partículas retenidas. En el tamiz de 3/8" a N°4,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

el 55,13% de las partículas tienen dos o más caras fracturadas, lo que corresponde al 10,81% de las partículas retenidas. El porcentaje total de partículas con dos o más caras fracturadas en esta fracción es 58,76%, lo que también muestra una buena proporción de material con propiedades favorables para la adherencia y estabilidad en las mezclas.

Para la fracción 3, los resultados muestran que en el tamiz de 3/4" a 1/2", el 30,25% de las partículas tienen dos o más caras fracturadas, representando el 2,13% de las partículas retenidas. En el tamiz de 1/2" a 3/8", el 62,92% de las partículas presentan dos o más caras fracturadas, lo que equivale al 46,78% de las partículas retenidas. En el tamiz de 3/8" a N°4, el 47,78% de las partículas tienen dos o más caras fracturadas, lo que representa el 8,89% de las partículas retenidas. El porcentaje total de partículas con dos o más caras fracturadas en esta fracción es 57,80%, lo que también indica una mayor interconexión entre las partículas.

El promedio total de partículas con dos o más caras fracturadas en las tres fracciones es 59,12%, lo que sugiere una alta calidad en cuanto a la cantidad de material que tiene partículas interconectadas. Este alto porcentaje es muy favorable para aplicaciones que requieren resistencia y cohesión, como la construcción de pavimentos y estructuras de concreto.

En conclusión, el análisis de partículas con dos o más caras fracturadas revela que las tres fracciones de la muestra de cantera La Poderosa tienen una gran proporción de material con partículas con características de mayor adherencia. El promedio de 59,12% de partículas con dos o más caras fracturadas muestra que este material es adecuado para aplicaciones que requieren alta resistencia y durabilidad, como en la fabricación de mezclas asfálticas y concretos, donde la interconexión entre partículas mejora la cohesión y la estabilidad de las mezclas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.8. Abrasión máquina de los ángeles

Tabla 25

Abrasión máquina de los ángeles

Muestra de cantera la poderosa - gradación c			
Ensayo de abrasión	**Fracción 1**	**Fracción 2**	**Fracción 3**
Agregado 1/2" (g)	2500,00	2500,00	2500,00
Agregado 3/8" (g)	2500,00	2500,00	2500,00
Total (g)	5000,00	5000,00	5000,00
Peso retenido tamiz N°12 (g)	4098,30	4082,40	4077,00
Peso pasante tamiz N°12 (g)	901,70	917,60	923,00
Porcentaje retenido	81,97%	81,65%	81,54%
Porcentaje de desgaste	**18,03%**	**18,35%**	**18,46%**
Promedio		**18,28%**	

Nota: Elaboración propia

En la tabla se presentan los resultados del ensayo de abrasión realizado con la máquina de Los Ángeles para tres fracciones del agregado de cantera La Poderosa, con una gradación C. Este ensayo es fundamental para evaluar la resistencia del agregado al desgaste por fricción, lo cual es crucial en aplicaciones de construcción, especialmente en la fabricación de mezclas asfálticas o concretos expuestos a condiciones de tráfico pesado o abrasión constante.

Para la fracción 1, el peso retenido en el tamiz N°12 fue de 4098,30 g, lo que representa el 81,97% del material original. El peso pasante fue de 901,70 g, lo que equivale al 18,03% de la muestra. Este porcentaje de desgaste refleja la cantidad de material que fue erosionado durante el ensayo, lo que sugiere que el agregado de esta fracción tiene una buena resistencia al desgaste. Un valor del 18,03% es relativamente bajo, lo que indica que la fracción 1 presenta una alta durabilidad frente a la abrasión.

En la fracción 2, el peso retenido fue de 4082,40 g, lo que representa el 81,65% del material, mientras que el peso pasante fue de 917,60 g, lo que da como resultado un

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

porcentaje de desgaste de 18,35%. Este valor es ligeramente más alto que el de la fracción 1, pero sigue siendo favorable para la mayoría de las aplicaciones de construcción, ya que aún mantiene una buena resistencia al desgaste. La leve diferencia entre las fracciones indica que el material en esta fracción también tiene una buena capacidad para resistir la abrasión.

Para la fracción 3, el peso retenido fue de 4077,00 g, lo que corresponde al 81,54% del material original, mientras que el peso pasante fue de 923,00 g, con un porcentaje de desgaste de 18,46%. Aunque este valor es ligeramente mayor que en las otras fracciones, sigue dentro de un rango aceptable y refleja que el agregado en esta fracción tiene una resistencia razonable frente al desgaste, adecuada para diversas aplicaciones estructurales.

El promedio del porcentaje de desgaste para las tres fracciones es de 18,28%, lo que sugiere que, en general, el agregado de cantera La Poderosa tiene una alta resistencia a la abrasión. Este valor es favorable, ya que indica que el material es adecuado para aplicaciones que requieren una alta durabilidad, como la construcción de pavimentos y mezclas asfálticas expuestas al tráfico pesado.

Figura 28

Ensayo de abrasión máquina de Los Ángeles

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los resultados del ensayo de abrasión indican que el agregado de cantera La Poderosa presenta una excelente resistencia al desgaste en todas las fracciones analizadas. Con un promedio de 18,28% de desgaste, el material demuestra ser adecuado para aplicaciones de construcción que demandan alta durabilidad y resistencia a la abrasión. Esto lo hace ideal para proyectos de pavimentación y la fabricación de mezclas asfálticas o concretos que estarán expuestos a condiciones severas de tráfico y desgaste.

4.1.9. Peso específico y absorción del agregado fino

Tabla 26

Peso específico y absorción del agregado fino

Muestra de cantera la poderosa				
Descripción	**Fracción 1**	**Fracción 2**	**Fracción 3**	**Promedio**
Peso del material saturado superficialmente seco	500,00	500,00	500,00	
Peso fiola + agua + material saturado superficialmente seco	948,50	950,04	951,07	
Temperatura	24,00	23,70	24,00	
Peso del material seco (W_0)	497,50	497,62	497,70	
Absorción (A_b)	0,50	0,48	0,46	
Volumen del frasco (V)	500,00	500,00	500,00	
Peso de la fiola	145,26	148,10	147,88	
Peso del picnómetro + agua	646,38	648,77	646,24	
Factor k	0,99729	0,99737	0,99729	
Volumen del agua añadida (V_a)	304,00	302,70	303,95	
Peso específico de masa (Pe_m)	2,54	2,52	2,54	
Peso específico saturado (Pe_{sss})	2,55	2,53	2,55	
Peso específico aparente (Pe_a)	2,57	2,55	2,57	
Absorción	0,50	0,48	0,46	**0,5**
Peso específico de masa (Pe_m)	2,53	2,52	2,53	**2,53**
Peso específico saturado (Pe_{sss})	2,54	2,53	2,54	**2,54**
Peso específico aparente (Pe_a)	2,56	2,55	2,56	**2,56**

Nota: Elaboración propia

Fórmulas:

$$Pe_m = \frac{W_0}{(V - V_a)} \times 100$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

$$Pe_{SSS} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

$$A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$$

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100$$

Pe_m = Peso específico de masa
W_o = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;
V = Volumen del frasco en cm^3
V_a = Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua añadida al frasco.

Figura 29

Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino

Nota: Elaboración propia

En la tabla se muestran los resultados de las mediciones del peso específico y la absorción para tres fracciones del agregado fino de la muestra de cantera La Poderosa. Este

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

análisis es importante para evaluar las propiedades físicas del agregado, ya que el peso específico y la absorción son factores clave que influyen en la densidad, la compacidad y la resistencia del material en aplicaciones como la construcción de pavimentos y estructuras de concreto.

Para la fracción 1, el peso del material saturado superficialmente seco es de 500 g. El peso fiola + agua + material saturado superficialmente seco es 948,50 g, lo que, junto con el peso del material seco 497,50 g, permite calcular la absorción de 0,50%. El peso específico de masa (Pem) de esta fracción es 2,54 g/cm³, el peso específico saturado (Pesss) es 2,55 g/cm³, y el peso específico aparente (Pea) es 2,57 g/cm³. Estos valores indican que el agregado tiene una densidad adecuada para aplicaciones que requieren materiales con buena compacidad.

En la fracción 2, el peso del material saturado superficialmente seco es también 500 g, y el peso fiola + agua + material saturado superficialmente seco es 950,04 g, con un peso del material seco de 497,62 g. La absorción en esta fracción es 0,48%, ligeramente menor que en la fracción 1. El peso específico de masa (Pem) es 2,52 g/cm³, el peso específico saturado (Pesss) es 2,53 g/cm³, y el peso específico aparente (Pea) es 2,55 g/cm³. Estos valores indican una densidad y absorción muy similares a las de la fracción 1, lo que sugiere propiedades físicas consistentes entre las fracciones.

Para la fracción 3, el peso del material saturado superficialmente seco es también 500 g, y el peso fiola + agua + material saturado superficialmente seco es 951,07 g, con un peso del material seco de 497,70 g. La absorción de esta fracción es 0,46%, la más baja entre las tres fracciones. El peso específico de masa (Pem) es 2,54 g/cm³, el peso específico saturado (Pesss) es 2,55 g/cm³, y el peso específico aparente (Pea) es 2,57 g/cm³. Estos resultados confirman que la fracción 3 tiene propiedades físicas similares a las de las otras fracciones, pero con una ligera diferencia en la absorción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El promedio de absorción de las tres fracciones es 0,50%, lo que indica que el agregado tiene una capacidad de absorción relativamente baja, lo que es favorable para su uso en mezclas de concreto y asfalto, ya que materiales con baja absorción suelen tener una mejor estabilidad y durabilidad. El promedio de peso específico de masa (Pem) es 2,53 g/cm³, el promedio de peso específico saturado (Pesss) es 2,54 g/cm³, y el promedio de peso específico aparente (Pea) es 2,56 g/cm³. Estos valores indican que el agregado tiene una densidad adecuada para ser utilizado en una variedad de aplicaciones de construcción.

Los resultados del peso específico y la absorción muestran que el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene buenas características físicas, con una absorción promedio baja de 0,50% y una densidad promedio de 2,53 g/cm³. Estas propiedades son favorables para su uso en mezclas de concreto y asfalto, ya que materiales con baja absorción y adecuada densidad proporcionan mayor estabilidad, resistencia y durabilidad en las aplicaciones estructurales. En general, el material de esta cantera es adecuado para proyectos de construcción que requieren alta calidad y resistencia.

4.1.10. Peso específico y absorción del agregado grueso

Tabla 27

Peso específico y absorción del agregado grueso

Muestra de cantera la poderosa				
Descripción	**Fracción 1**	**Fracción 2**	**Fracción 3**	**Promedio**
Peso de la muestra seca en el aire (g) (a)	3053,6	3030,3	3044,1	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (g) (b)	3080,7	3056,3	3070,0	
Peso en el agua de la muestra saturada (g) (c)	1933,5	1924,5	1933,4	
Temperatura del agua °C	23	24	24	
Factor k	0,99754	0,99729	0,99729	
Peso específico de masa (Pe_m)	2,66	2,67	2,67	**2,67**
Peso específico saturado (Pe_{sss})	2,68	2,69	2,69	**2,69**
Peso específico aparente (Pe_a)	2,72	2,73	2,73	**2,73**
Absorción (A_b)	0,89	0,86	0,85	**0,9**

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Fórmulas:

$$P_{em} = \frac{A}{(B-C)} \times 100$$

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B-C)} \times 100$$

$$P_{ea} = \frac{A}{(A-C)} \times 100$$

$$A_b(\%) = \frac{(B-A)}{A} \times 100$$

En la tabla se presentan los resultados del análisis de peso específico y absorción para tres fracciones del agregado grueso de la muestra de cantera La Poderosa. Estos parámetros son fundamentales para evaluar la calidad y las propiedades físicas del material, ya que influyen directamente en la durabilidad, la resistencia y la compacidad del agregado en aplicaciones de construcción, especialmente en mezclas asfálticas y de concreto.

Para la fracción 1, el peso de la muestra seca en el aire es de 3053,6 g, mientras que el peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire es de 3080,7 g, lo que indica que la muestra ha absorbido algo de agua. El peso en el agua de la muestra saturada es de 1933,5 g. El peso específico de masa (Pem) es 2,66 g/cm³, el peso específico saturado (Pesss) es 2,68 g/cm³, y el peso específico aparente (Pea) es 2,72 g/cm³. Estos valores indican que el agregado tiene una densidad adecuada para su uso en mezclas de concreto y asfalto. La absorción de esta fracción es de 0,89%, lo que sugiere que el agregado tiene una capacidad moderada de absorción de agua.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la fracción 2, el peso de la muestra seca en el aire es de 3030,3 g, y el peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire es de 3056,3 g. El peso en el agua de la muestra saturada es de 1924,5 g. El peso específico de masa (Pem) es 2,67 g/cm³, el peso específico saturado (Pesss) es 2,69 g/cm³, y el peso específico aparente (Pea) es 2,73 g/cm³. Estos valores son consistentes con los de la fracción 1, lo que indica que el agregado de esta fracción tiene una buena densidad y propiedades físicas adecuadas para aplicaciones estructurales. La absorción es de 0,86%, ligeramente menor que en la fracción 1, lo que podría indicar que esta fracción tiene una menor capacidad de absorción de agua.

Para la fracción 3, el peso de la muestra seca en el aire es de 3044,1 g, y el peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire es de 3070,0 g. El peso en el agua de la muestra saturada es de 1933,4 g. El peso específico de masa (Pem) es 2,67 g/cm³, el peso específico saturado (Pesss) es 2,69 g/cm³, y el peso específico aparente (Pea) es 2,73 g/cm³. Al igual que en las fracciones anteriores, estos valores indican que el material tiene una buena densidad y propiedades físicas adecuadas. La absorción de esta fracción es de 0,85%, lo que es similar a la fracción 2, indicando que esta fracción también tiene una baja capacidad de absorción.

El promedio de absorción de las tres fracciones es 0,9%, lo que refleja una capacidad moderada de absorción en el agregado grueso. El promedio de peso específico de masa (Pem) es 2,67 g/cm³, el promedio de peso específico saturado (Pesss) es 2,69 g/cm³, y el promedio de peso específico aparente (Pea) es 2,73 g/cm³. Estos valores son adecuados para la mayoría de las aplicaciones de construcción, ya que indican que el material tiene una buena densidad y una capacidad de absorción razonable.

Los resultados del peso específico y la absorción muestran que el agregado grueso de la cantera La Poderosa tiene buenas características físicas. Con un promedio de absorción de 0,9%, el material tiene una capacidad de absorción moderada, lo cual es favorable para

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

aplicaciones en concreto y mezclas asfálticas, ya que los materiales con una absorción moderada generalmente tienen una mejor estabilidad y resistencia. El promedio de peso específico de 2,67 g/cm³ es adecuado para garantizar la densidad necesaria en las mezclas. En general, el material de esta cantera es adecuado para diversas aplicaciones de construcción que requieren materiales con buena resistencia, durabilidad y estabilidad.

4.1.11. Gravedad específica del filler

Tabla 28

Gravedad específica del filler

	Fracción 1	Fracción 2	Fracción 3	Promedio
Peso del picnómetro	152,11	152,11	152,11	
Peso de los sólidos	300,07	301,22	299,41	
Peso del picnómetro + agua	659,26	659,38	658,91	
Peso del picnómetro + muestra	452,18	453,33	451,52	
Peso del picnómetro + muestra + agua	834,66	835,19	835,04	
Gravedad específica	2,41	2,40	2,43	
Temperatura	24	24	26,5	
Factor k	0,99729	0,99729	0,99844	
Gravedad específica a 20 °C (*GS*)	2,40	2,40	2,42	**2,41**

Nota: Elaboración propia

En la tabla se presentan los resultados del cálculo de la gravedad específica para tres fracciones del filler de la muestra de cantera La Poderosa. La gravedad específica es una propiedad física clave que se utiliza para evaluar la densidad relativa de un material con respecto al agua. Este análisis es importante para determinar cómo se comporta el material en diferentes aplicaciones, especialmente en mezclas asfálticas o concretos, donde la densidad influye en la estabilidad y resistencia de la mezcla.

Para la fracción 1, los resultados indican que el peso del picnómetro es 152,11 g, y el peso de los sólidos es de 300,07 g. El peso del picnómetro + agua es de 659,26 g, y el peso del picnómetro + muestra es de 452,18 g. El peso del picnómetro + muestra + agua es 834,66

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

g. Con estos datos, se calcula la gravedad específica, que para esta fracción es de 2,41. Este valor sugiere que el filler tiene una densidad relativamente alta en comparación con el agua, lo que es típico en muchos materiales utilizados en la fabricación de mezclas asfálticas y concretos.

En la fracción 2, el peso del picnómetro sigue siendo 152,11 g, y el peso de los sólidos es 301,22 g. El peso del picnómetro + agua es de 659,38 g, y el peso del picnómetro + muestra es de 453,33 g. El peso del picnómetro + muestra + agua es 835,19 g. La gravedad específica calculada para esta fracción es 2,40, lo que es ligeramente inferior a la fracción 1, pero sigue siendo un valor adecuado para aplicaciones que requieren alta densidad.

Para la fracción 3, el peso del picnómetro es 152,11 g, el peso de los sólidos es 299,41 g, y el peso del picnómetro + agua es de 658,91 g. El peso del picnómetro + muestra es 451,52 g, y el peso del picnómetro + muestra + agua es 835,04 g. La gravedad específica calculada para esta fracción es 2,43, que es la más alta entre las tres fracciones. Esto sugiere que el filler en esta fracción tiene una mayor densidad en comparación con las otras fracciones.

El promedio de gravedad específica de las tres fracciones es de 2,41, lo que indica que, en general, el filler tiene una densidad relativamente alta. Este valor es importante para determinar la capacidad del material para ser utilizado en mezclas asfálticas o concretos, donde la estabilidad y resistencia son cruciales.

Los resultados del análisis de gravedad específica muestran que el filler de la cantera La Poderosa tiene una alta densidad, con un promedio de 2,41. Este valor es adecuado para aplicaciones que requieren materiales densos, como en la fabricación de mezclas asfálticas y concretos. La ligera variabilidad entre las fracciones sugiere que el material tiene propiedades consistentes y es adecuado para diversas aplicaciones estructurales que demandan alta resistencia y estabilidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.12. Durabilidad al sulfato de magnesio

4.1.12.1. Durabilidad del agregado fino al sulfato de magnesio.

Tabla 29

Durabilidad del agregado fino en solución de sulfato de magnesio

Muestra cantera la poderosa - fracción 1						
Tamaño de mallas		**Porcentaje del retenido muestra original**	**Peso de las fracciones antes del ensayo**	**Peso de las fracciones después del ensayo**	**% de pérdidas después del ensayo**	**% de pérdidas corregidas**
Pasa	**Retiene**					
9.50 mm (3/8")	4.75 mm (N°4)	24,07%	300,00	286,00	4,67%	1,12%
4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	16,65%	207,50	185,50	10,60%	1,76%
2.36 mm (N°8)	1.18 mm (N°16)	17,13%	213,50	196,50	7,96%	1,36%
1.18 mm (N°16)	600 µm (N°30)	18,17%	226,50	209,50	7,51%	1,36%
600 µm (N°30)	300 µm (N°50)	14,68%	183,00	148,50	18,85%	2,77%
300 µm (N°50)	150 µm (N°100)	6,47%	80,60	64,50	19,98%	1,29%
150 µm (N°100)	------	2,85%	35,50	26,50	25,35%	0,72%
TOTALES		100,00%	1246,60	1117,00		**10,40%**
Muestra cantera la poderosa - fracción 2						
Tamaño de mallas		**Porcentaje del retenido muestra original**	**Peso de las fracciones antes del ensayo**	**Peso de las fracciones después del ensayo**	**% de pérdidas después del ensayo**	**% de pérdidas corregidas**
Pasa	**Retiene**					
9.50 mm (3/8")	4.75 mm (N°4)	21,70%	259,50	239,10	7,86%	1,71%
4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	18,02%	215,50	196,30	8,91%	1,61%
2.36 mm (N°8)	1.18 mm (N°16)	16,56%	198,10	172,60	12,87%	2,13%
1.18 mm (N°16)	600 µm (N°30)	18,14%	217,00	201,50	7,14%	1,30%
600 µm (N°30)	300 µm (N°50)	14,15%	169,20	148,70	12,12%	1,71%
300 µm (N°50)	150 µm (N°100)	8,05%	96,30	73,30	23,88%	1,92%
150 µm (N°100)	------	3,39%	40,50	37,50	7,41%	0,25%
TOTALES		100,00%	1196,10	1069,00		**10,63%**
Muestra cantera la poderosa - fracción 3						
Tamaño de mallas		**Porcentaje del retenido muestra original**	**Peso de las fracciones antes del ensayo**	**Peso de las fracciones después del ensayo**	**% de pérdidas después del ensayo**	**% de pérdidas corregidas**
Pasa	**Retiene**					
9.50 mm (3/8")	4.75 mm (N°4)	24,01%	326,80	296,70	9,21%	2,21%
4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	18,92%	257,60	230,10	10,68%	2,02%
2.36 mm (N°8)	1.18 mm (N°16)	15,36%	209,10	196,90	5,83%	0,90%
1.18 mm (N°16)	600 µm (N°30)	16,77%	228,30	201,40	11,78%	1,98%
600 µm (N°30)	300 µm (N°50)	14,50%	197,40	172,80	12,46%	1,81%
300 µm (N°50)	150 µm (N°100)	7,31%	99,50	70,50	29,15%	2,13%
150 µm (N°100)	------	3,12%	42,50	39,70	6,59%	0,21%
TOTALES		100,00%	1361,20	1208,10		**11,25%**
Promedio				**10,76%**		

Nota: Elaboración propia

En la tabla se muestran los resultados del ensayo de durabilidad del agregado fino de la muestra de cantera La Poderosa en solución de sulfato de magnesio, que tiene como

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

objetivo medir la resistencia del material al desgaste por acción química. Este ensayo evalúa la capacidad del agregado para resistir la desintegración cuando se expone a una solución que simula condiciones de agresión en el ambiente.

Para la fracción 1, el porcentaje de pérdidas corregidas después del ensayo es de 10,40%. Los resultados muestran que las fracciones con tamaños más pequeños tienden a perder más peso, especialmente las partículas retenidas en el tamiz de 300 µm (N°50), con un 19,98% de pérdidas, lo que indica una mayor fragilidad en estas partículas. En el tamiz de 150 µm (N°100), la pérdida es aún mayor, alcanzando 25,35%, lo que sugiere que las partículas más finas son más susceptibles a la acción del sulfato de magnesio. La mayor parte de las fracciones, sin embargo, presenta pérdidas dentro de un rango de 1,12% a 7,96%, lo que refleja una resistencia razonable del agregado.

En la fracción 2, el porcentaje de pérdidas corregidas es 10,63%, ligeramente superior al de la fracción 1. Al igual que en la fracción anterior, las partículas más pequeñas presentan mayores pérdidas, especialmente las que quedaron retenidas en el tamiz de 300 µm (N°50), con un 23,88% de pérdidas. Sin embargo, las fracciones más grandes, como las de 9.50 mm (3/8") a 4.75 mm (N°4), tuvieron un porcentaje de pérdidas mucho menor, alrededor del 1,71%. Esto sugiere que el agregado grueso es más resistente al desgaste que el más fino.

Para la fracción 3, el porcentaje de pérdidas corregidas es 11,25%, el más alto de las tres fracciones. Este resultado indica una menor resistencia general a la durabilidad en comparación con las otras fracciones. Las partículas más finas, específicamente las que quedaron retenidas en el tamiz de 300 µm (N°50), presentaron el 29,15% de pérdidas, lo que indica una mayor fragilidad en esta fracción. La fracción de 150 µm (N°100) tuvo una pérdida del 6,59%, lo que también sugiere que las partículas más pequeñas son más susceptibles a la disgregación por la acción del sulfato de magnesio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El promedio total de pérdidas corregidas para las tres fracciones es de 10,76%, lo que indica que, en general, el agregado de cantera La Poderosa tiene una resistencia moderada al desgaste químico. Este valor es aceptable para muchas aplicaciones de construcción, pero es importante tener en cuenta que las fracciones más finas muestran una mayor vulnerabilidad al desgaste, lo que puede afectar su durabilidad en ciertas condiciones de exposición.

Los resultados del ensayo de durabilidad en solución de sulfato de magnesio muestran que el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene una resistencia razonable al desgaste químico, con un promedio de pérdidas corregidas de 10,76%. Sin embargo, las fracciones más pequeñas (especialmente aquellas retenidas en el tamiz de 300 µm (N°50) y 150 µm (N°100)) son más susceptibles al desgaste, lo que sugiere que el material puede ser más adecuado para aplicaciones donde la exposición a condiciones agresivas no sea tan intensa. Para aplicaciones que requieren alta durabilidad, se recomienda considerar el uso de fracciones más gruesas o mejorar la resistencia del material a través de tratamientos adicionales.

Figura 30

Ensayo de durabilidad del agregado al sulfato de magnesio

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.12.2. Durabilidad del agregado grueso al sulfato de magnesio.

Tabla 30

Durabilidad del agregado fino en solución de sulfato de magnesio

Muestra cantera la poderosa - fracción 1							
Tamaño de mallas	**Porcentaje retenido de la original**	**Peso de fracciones originales**	**Peso de fracciones después del ensayo**	**Pérdida después del ensayo**	**Sumas parciales de pérdidas**	**% de pérdida después del ensayo**	**% de pérdidas corregidas**
50.0 mm (2") 37.5 mm (1 1/2")	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00%	
37.5 mm (1 1/2") 25.0 mm (1")	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00%	
25.0 mm (1") 19.0 mm (3/4")	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00%	
19.0 mm (3/4") 12.5 mm (1/2")	21,6%	432,5	418,0	14,5	14,5	3,35%	0,7%
12.5 mm (1/2") 9.5 mm (3/8")	44,9%	898,0	826,5	71,5	86,0	7,96%	3,6%
9.5 mm (3/8") 4.75 mm (N°4)	33,5%	669,5	632,0	37,5	123,5	5,60%	1,9%
Totales	100,0%	2000,0	1876,5				**6,2%**
Muestra cantera la poderosa - fracción 2							
Tamaño de mallas	**Porcentaje retenido de la original**	**Peso de fracciones originales**	**Peso de fracciones después del ensayo**	**Pérdida después del ensayo**	**Sumas parciales de pérdidas**	**% de pérdida después del ensayo**	**% de pérdidas corregidas**
50.0 mm (2") 37.5 mm (1 1/2")	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00%	
37.5 mm (1 1/2") 25.0 mm (1")	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00%	
25.0 mm (1") 19.0 mm (3/4")	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00%	
19.0 mm (3/4") 12.5 mm (1/2")	23,1%	461,0	429,5	31,5	31,5	6,83%	1,6%
12.5 mm (1/2") 9.5 mm (3/8")	43,8%	876,5	843,5	33,0	64,5	3,76%	1,7%
9.5 mm (3/8") 4.75 mm (n°4)	33,1%	662,5	622,0	40,5	105,0	6,11%	2,0%
Totales	100,0%	2000,0	1895,0				**5,3%**
Muestra cantera la poderosa - fracción 3							
Tamaño de mallas	**Porcentaje retenido de la original**	**Peso de fracciones originales**	**Peso de fracciones después del ensayo**	**Pérdida después del ensayo**	**Sumas parciales de pérdidas**	**% de pérdida después del ensayo**	**% de pérdidas corregidas**
50.0 mm (2") 37.5 mm (1 1/2")	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00%	
37.5 mm (1 1/2") 25.0 mm (1")	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00%	
25.0 mm (1") 19.0 mm (3/4")	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00%	
19.0 mm (3/4") 12.5 mm (1/2")	25,0%	499,5	468,0	31,5	31,5	6,31%	1,6%
12.5 mm (1/2") 9.5 mm (3/8")	41,1%	821,0	792,5	28,5	60,0	3,47%	1,4%
9.5 mm (3/8") 4.75 mm (n°4)	34,0%	679,5	625,0	54,5	114,5	8,02%	2,7%
Totales	100,0%	2000,0	1885,5				**5,7%**
Promedio					**5,7%**		

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la tabla se presentan los resultados del ensayo de durabilidad en solución de sulfato de magnesio para tres fracciones del agregado fino de la muestra de cantera La Poderosa. Este ensayo se realiza para evaluar la resistencia del agregado a la desintegración cuando se expone a una solución química que simula condiciones ambientales agresivas, lo que es fundamental para garantizar la durabilidad de los materiales en aplicaciones de construcción expuestas a condiciones climáticas severas o tráfico pesado.

Para la fracción 1, el porcentaje de pérdida corregida después del ensayo es 6,2%, lo que indica que una porción significativa del material fue afectada por la solución de sulfato de magnesio. Las fracciones con tamaños más pequeños, como las partículas retenidas en el tamiz de 9.5 mm (3/8") a 4.75 mm (N°4), presentaron una pérdida del 5,60%, mientras que las fracciones más finas, como las partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (N°4) a 2.36 mm (N°8), tuvieron una pérdida de 10,60%. Esto indica que las partículas más pequeñas son más susceptibles a la disgregación por la acción del sulfato de magnesio, mientras que las partículas más grandes tienen una mayor resistencia.

En la fracción 2, el porcentaje de pérdida corregida es 5,3%, lo que también indica una buena resistencia general al desgaste, aunque aún se observa que las fracciones finas experimentaron mayores pérdidas. Las partículas en el tamiz de 9.5 mm (3/8") a 4.75 mm (N°4) presentaron una pérdida de 6,11%, mientras que las partículas en el tamiz de 4.75 mm (N°4) a 2.36 mm (N°8) experimentaron una pérdida de 8,91%. Este comportamiento es similar al de la fracción 1, donde las fracciones más gruesas fueron más resistentes al desgaste, mientras que las más finas mostraron una mayor vulnerabilidad a la acción química.

Para la fracción 3, el porcentaje de pérdida corregida es 5,7%, lo que es similar al de la fracción 2 y algo más alto que en la fracción 1. En esta fracción, las partículas retenidas en el tamiz de 9.5 mm (3/8") a 4.75 mm (N°4) mostraron una pérdida de 8,02%, lo que refleja

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

una mayor fragilidad de las partículas más finas. Las fracciones intermedias tuvieron una pérdida de 5,83%, lo que sugiere que el material más grueso tiene una mejor capacidad para resistir la disgregación.

El promedio total de pérdidas corregidas para las tres fracciones es 5,7%, lo que indica que, en general, el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene una buena durabilidad frente al sulfato de magnesio, aunque las partículas más finas presentan una mayor susceptibilidad al desgaste.

Los resultados del ensayo de durabilidad en solución de sulfato de magnesio muestran que el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene una resistencia moderada al desgaste químico, con un promedio de pérdidas corregidas de 5,7%. Las partículas más finas muestran una mayor vulnerabilidad al desgaste, con pérdidas que aumentan conforme el tamaño de las partículas disminuye. Sin embargo, en general, el material tiene una buena resistencia y es adecuado para aplicaciones en las que no se somete a condiciones extremadamente agresivas. Para aplicaciones que requieren una mayor durabilidad, se recomienda considerar el uso de fracciones más gruesas o implementar tratamientos para mejorar la resistencia del material.

4.1.13. Angularidad del agregado fino

Tabla 31

Angularidad del agregado fino

Muestra de cantera la poderosa				
Datos	**Fracción 1**	**Fracción 2**	**Fracción 3**	**Promedio**
Volumen del cilindro (V)	234,60	234,60	234,60	234,60
Masa del agregado en el cilindro (W)	345,89	339,35	343,27	342,84
Densidad relativa (G_{sb})	2,59	2,59	2,59	2,59
Vacíos no compactados (A^o)	43,07%	44,15%	43,51%	**43,58%**

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la tabla se muestran los resultados del análisis de angularidad para tres fracciones del agregado fino de la muestra de cantera La Poderosa. La angularidad es una propiedad importante que se refiere a la forma de las partículas del agregado. Un agregado con partículas angulares tiene una mayor capacidad de interbloqueo, lo que puede mejorar la resistencia y la estabilidad de las mezclas en las que se utiliza.

Para la fracción 1, el volumen del cilindro (V) es 234,60 cm^3 y la masa del agregado en el cilindro (W) es de 345,89 g. La densidad relativa (Gsb) es de 2,59 g/cm^3, lo que indica que el material tiene una densidad relativamente alta, lo cual es típico de los agregados que tienen una buena resistencia y estabilidad. El porcentaje de vacíos no compactados (Ao) es de 43,07%, lo que sugiere que aproximadamente el 43% del volumen del agregado no está ocupado por partículas compactadas. Este valor indica una angularidad moderada en las partículas de esta fracción.

En la fracción 2, el volumen del cilindro (V) es el mismo (234,60 cm^3), y la masa del agregado en el cilindro (W) es 339,35 g. La densidad relativa (Gsb) se mantiene en 2,59 g/cm^3, lo que indica que esta fracción tiene una densidad similar a la fracción 1. El porcentaje de vacíos no compactados (Ao) es de 44,15%, lo que representa una ligera variación respecto a la fracción 1, sugiriendo que las partículas de esta fracción tienen una mayor capacidad de intercalarse, lo cual puede ser característico de agregados más angulares.

Para la fracción 3, el volumen del cilindro (V) también es 234,60 cm^3, y la masa del agregado en el cilindro (W) es 343,27 g. Al igual que en las otras fracciones, la densidad relativa (Gsb) es 2,59 g/cm^3. El porcentaje de vacíos no compactados (Ao) es de 43,51%, que es ligeramente superior al de la fracción 1, lo que indica que las partículas de esta fracción tienen una buena angularidad, pero no significativamente diferente de las otras fracciones.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El promedio de vacíos no compactados (Ao) para las tres fracciones es de 43,58%, lo que sugiere que, en general, el agregado de cantera La Poderosa tiene una angularidad moderada. Este valor es consistente con los resultados obtenidos en cada fracción, lo que indica que las partículas del agregado tienen una forma angular que es favorable para la adherencia y estabilidad de las mezclas, pero no excesivamente angular, lo que podría afectar la trabajabilidad.

El análisis de angularidad muestra que el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene una angularidad moderada, con un promedio de vacíos no compactados de 43,58%. Esto sugiere que las partículas del agregado tienen una forma angular adecuada, lo que mejora la estabilidad y resistencia de las mezclas en las que se utiliza. Esta propiedad es beneficiosa para aplicaciones en las que se requiere una alta cohesión y estabilidad, como en la fabricación de mezclas asfálticas y de concreto.

Figura 31

Ensayo de angularidad del agregado fino

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.14. Azul de metileno agregado fino

Tabla 32

Azul de metileno agregado fino

Muestra de cantera la poderosa			
Azul de metileno	**Peso**	**Volumen**	**Valor azul metileno**
Fracción 1	30	15	5,00
Fracción 2	30,3	15	4,95
Fracción 3	30,2	15	4,97
Promedio	30,17	15	**4,97**

Nota: Elaboración propia

$$VA = \frac{V_1}{M_1} * 10$$

Donde:

VA: valor de azul expresado en

V1: volumen total de la solución añadida

M1: masa de la muestra del ensayo (g)

En la tabla se muestran los resultados del análisis de azul de metileno para tres fracciones del agregado fino de la muestra de cantera La Poderosa. El ensayo de azul de metileno se utiliza para evaluar la cantidad de material fino que es capaz de absorber una solución de azul de metileno, lo cual proporciona información sobre la cantidad de partículas finas activas, como arcillas y otros materiales finos, que podrían afectar la calidad de las mezclas, particularmente en aplicaciones de concreto o asfalto.

Para la fracción 1, el peso es de 30 g y el volumen es de 15 cm³, lo que da un valor de azul de metileno de 5,00. Este valor indica una capacidad moderada de absorción de la solución de azul de metileno, lo que refleja la cantidad de material fino activo presente en el agregado.

En la fracción 2, el peso es de 30,3 g y el volumen es de 15 cm³, con un valor de azul de metileno de 4,95. Este valor es ligeramente menor que el de la fracción 1, pero sigue

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

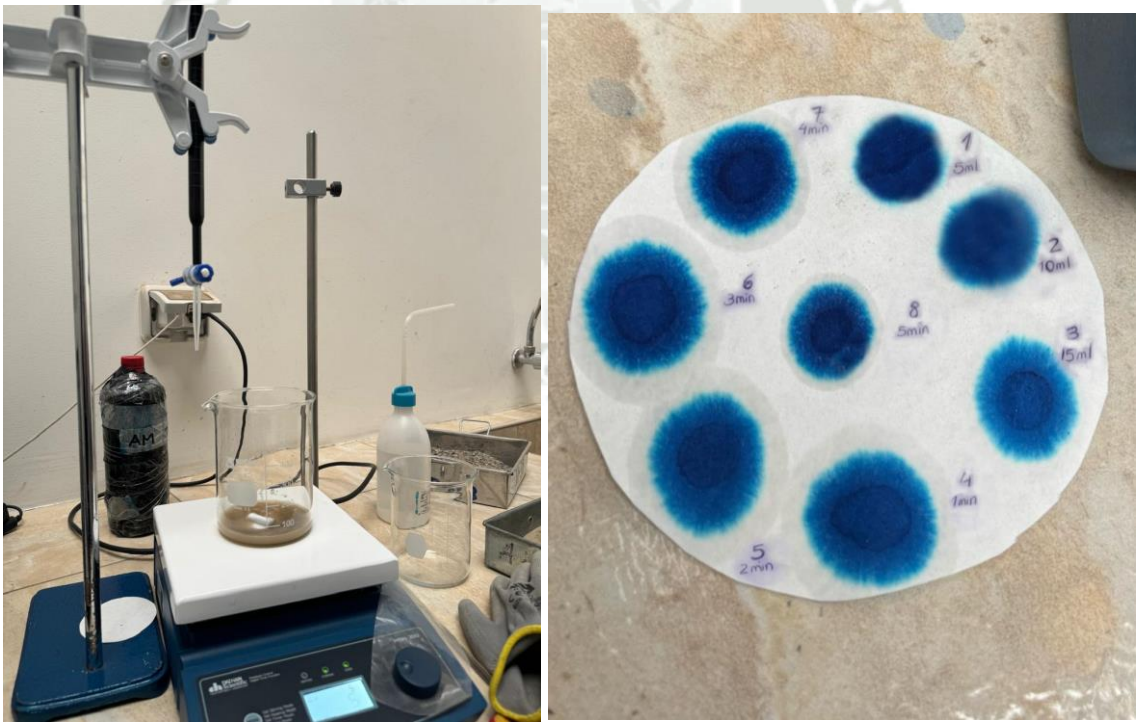
siendo bastante cercano, lo que indica propiedades similares en cuanto a la cantidad de material fino activo en esta fracción.

Para la fracción 3, el peso es de 30,2 g y el volumen es de 15 cm³, con un valor de azul de metileno de 4,97. Este valor es casi idéntico al de la fracción 2 y ligeramente inferior al de la fracción 1, indicando una cantidad similar de material fino activo.

El promedio de los valores de azul de metileno para las tres fracciones es 4,97, lo que sugiere que, en general, el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene una capacidad moderada de absorción de azul de metileno. Este valor es adecuado para aplicaciones donde una cantidad controlada de partículas finas activas es necesaria para garantizar la cohesión y estabilidad de la mezcla, sin comprometer la trabajabilidad del concreto o asfalto.

Figura 32

Ensayo de azul de metileno



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los resultados del azul de metileno muestran que el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene un promedio de 4,97, lo que indica una capacidad moderada para absorber la solución. Este comportamiento es típico de los agregados que contienen una cantidad controlada de partículas finas activas, lo que es beneficioso para la estabilidad y durabilidad de las mezclas de concreto y asfalto. La moderada cantidad de material fino activo sugiere que este agregado es adecuado para aplicaciones estructurales donde se requiere una buena cohesión y resistencia.

Valor de azul de metileno (mg/g)	Desempeño
≤ 6	Excelente
7 - 12	Marginalmente aceptable
13 - 19	Problemas / posible falla
≥ 20	Falla

La tabla muestra la relación entre el valor de azul de metileno (mg/g) y el desempeño del material. Si el valor de azul de metileno es menor o igual a 6 mg/g, el desempeño del material se considera "Excelente," lo que indica que cumple con los estándares de calidad requeridos. Un valor entre 7 y 12 mg/g se clasifica como "Marginalmente aceptable," sugiriendo que el material está dentro de un rango aceptable, pero no óptimo. Cuando el valor se encuentra entre 13 y 19 mg/g, se señala como "Problemas / posible falla," lo que indica que el material puede presentar limitaciones y podría no ser adecuado para algunas aplicaciones. Finalmente, un valor mayor o igual a 20 mg/g se considera como "Falla," lo que implica que el material no cumple con los requisitos de calidad y podría comprometer la resistencia y durabilidad de las estructuras en las que se utilice. Este tipo de evaluación es esencial para garantizar que los materiales utilizados en la construcción sean apropiados y seguros para su propósito.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.15. Índice de durabilidad agregado fino

Tabla 33

Índice de durabilidad agregado fino

Muestra de cantera la poderosa				
Solución de stock	Cloruro de calcio		Temperatura	20
Descripción	**Fracción 1**	**Fracción 2**	**Fracción 3**	**Promedio**
Tiempo de saturación	10 min	10 min	10 min	
Tiempo de decantado	20 min	20 min	20 min	
Altura de arcilla (cm)	12,5	12,2	11,8	
Altura de arena (cm)	12,1	11,8	11,2	
Df	96,80%	96,72%	94,92%	**96,15%**

Nota: Elaboración propia

Formula:

$$Df = \frac{Lectura\ de\ arena}{Lectura\ de\ arcilla} * 100$$

En la tabla se presentan los resultados del índice de durabilidad del agregado fino de la muestra de cantera La Poderosa, basado en un ensayo con solución de cloruro de calcio a una temperatura de 20°C. Este ensayo mide la capacidad del agregado fino para resistir la acción de soluciones químicas, simulando condiciones de exposición a ambientes agresivos. Los resultados reflejan la durabilidad del agregado, lo cual es crucial para aplicaciones de construcción que requieren materiales resistentes y de larga duración.

Para la fracción 1, el tiempo de saturación fue de 10 minutos y el tiempo de decantado fue de 20 minutos. La altura de arcilla fue de 12,5 cm y la altura de arena fue de 12,1 cm. El índice de durabilidad (Df) para esta fracción es de 96,80%, lo que indica una excelente resistencia del agregado frente a la acción de la solución de cloruro de calcio. Un valor cercano al 100% refleja una alta durabilidad del material, lo que es favorable para su uso en mezclas asfálticas y de concreto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la fracción 2, el tiempo de saturación también fue de 10 minutos y el tiempo de decantado fue de 20 minutos. La altura de arcilla fue de 12,2 cm y la altura de arena fue de 11,8 cm. El índice de durabilidad (Df) para esta fracción es de 96,72%, lo que es casi idéntico al de la fracción 1, indicando que esta fracción también tiene una alta resistencia a la solución de cloruro de calcio, lo que hace que sea adecuado para aplicaciones de construcción duraderas.

Para la fracción 3, el tiempo de saturación y el tiempo de decantado fueron los mismos: 10 minutos y 20 minutos, respectivamente. La altura de arcilla fue de 11,8 cm, y la altura de arena fue de 11,2 cm. El índice de durabilidad (Df) para esta fracción es de 94,92%, lo que es ligeramente inferior a las fracciones 1 y 2, pero aún así indica una buena resistencia frente a la solución de cloruro de calcio. Aunque es un poco más bajo, sigue siendo un valor adecuado para la mayoría de las aplicaciones estructurales.

El promedio del índice de durabilidad (Df) para las tres fracciones es de 96,15%, lo que indica que el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene una alta durabilidad en condiciones de exposición química. Este valor es favorable y refleja que el material tiene una excelente resistencia frente a los efectos agresivos de las soluciones químicas, lo cual es clave para garantizar su uso en aplicaciones duraderas.

El análisis del índice de durabilidad muestra que el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene una alta resistencia a la acción de la solución de cloruro de calcio, con un promedio de 96,15%. Esto sugiere que el material es adecuado para aplicaciones en las que se requiere una alta durabilidad, como en la fabricación de mezclas asfálticas y de concreto expuestas a condiciones agresivas. La excelente durabilidad de este agregado lo hace ideal para proyectos que demandan materiales con una larga vida útil y una buena resistencia a la disgregación química.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.16. Índice de durabilidad agregado grueso

Tabla 34

Índice de durabilidad agregado grueso

Muestra de cantera la poderosa			
Solución de stock	Cloruro de calcio	**Tiempo de lavado**	10 min
Temperatura	20	**Tiempo de decantado**	20 min
Fracción 1			
Gradación		**% retenido**	**Altura de sedimentación (plg)**
Pasa	**Retiene**	**Inicial**	
3/4"	1/2"	1070,2	0,2
1/2"	3/8"	570,4	0,1
3/8"	N°4	910	0,1
		2550,6	
Dc	**93,07**	**Índice de durabilidad**	**93**
Fracción 2			
Gradación		**% retenido**	**Altura de sedimentación (plg)**
Pasa	**Retiene**	**Inicial**	
3/4"	1/2"	1070	0,1
1/2"	3/8"	572	0,3
3/8"	N°4	910,8	0,2
		2552,8	
Dc	**90,05**	**Índice de durabilidad**	**90**
Fracción 3			
Gradación		**% retenido**	**Altura de sedimentación (plg)**
Pasa	**Retiene**	**Inicial**	
3/4"	1/2"	1071	0,2
1/2"	3/8"	570	0,2
3/8"	N°4	910	0,3
		2551	
Dc	**90,05**	**Índice de durabilidad**	**90**
Promedio		**91,00**	

Nota: Elaboración propia

En la tabla se muestran los resultados del índice de durabilidad del agregado grueso para tres fracciones de la muestra de cantera La Poderosa, basado en un ensayo con solución de cloruro de calcio. Este ensayo se utiliza para evaluar la capacidad del agregado para resistir la desintegración en condiciones químicas agresivas, lo cual es clave para determinar

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

su durabilidad en aplicaciones de construcción que están expuestas a condiciones severas, como pavimentos o estructuras sometidas a tráfico pesado.

Para la fracción 1, el índice de durabilidad calculado es de 93, con un índice de durabilidad (Dc) de 93,07%. Este valor indica una alta resistencia del agregado frente a la disgregación por acción química. La fracción 1 muestra una mayor estabilidad, ya que la altura de sedimentación en los diferentes tamices es relativamente baja, lo que refleja una buena cohesión entre las partículas del agregado. Esta fracción es ideal para aplicaciones que requieren materiales con alta durabilidad, como en la fabricación de mezclas asfálticas o concretos estructurales.

En la fracción 2, el índice de durabilidad es ligeramente inferior, con un valor de 90 y un índice de durabilidad (Dc) de 90,05%. Aunque este valor es algo más bajo que el de la fracción 1, sigue siendo adecuado para la mayoría de las aplicaciones de construcción. La altura de sedimentación es un poco mayor que en la fracción 1, lo que indica que las partículas de esta fracción pueden ser ligeramente más susceptibles al desgaste, pero aún tienen una resistencia bastante buena frente a la acción del cloruro de calcio.

Para la fracción 3, el índice de durabilidad es el mismo que en la fracción 2, con un valor de 90 y un índice de durabilidad (Dc) de 90,05%. Este valor sugiere que esta fracción también tiene una buena resistencia frente a la disgregación por acción química, similar a la fracción 2. La altura de sedimentación en esta fracción varía entre 0,2 y 0,3 pulgadas, lo que indica una capacidad de intercalarse moderada entre las partículas, pero sin comprometer la durabilidad general del material.

El promedio total del índice de durabilidad para las tres fracciones es de 91,00%, lo que refleja que el agregado grueso de la cantera La Poderosa tiene una resistencia adecuada frente a la solución de cloruro de calcio. Este valor es excelente para aplicaciones en las que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

se requiere durabilidad, como la construcción de pavimentos, mezclas asfálticas o concreto expuesto a condiciones ambientales severas.

En conclusión, los resultados del ensayo de índice de durabilidad indican que el agregado grueso de la cantera La Poderosa es adecuado para una amplia gama de aplicaciones de construcción. Las tres fracciones muestran una alta resistencia a la desintegración en solución de cloruro de calcio, con un promedio de 91,00%, lo que sugiere que el material es ideal para proyectos que requieren alta durabilidad, como pavimentos y estructuras expuestas a condiciones de tráfico pesado y ambientes agresivos.

4.1.17. Sales solubles agregado fino

Tabla 35

Sales solubles agregado fino

Muestra de cantera la poderosa				
Parámetros	**Fracción 1**	**Fracción 2**	**Fracción 3**	**Promedio**
Peso del recipiente	90,28	92,74	86,33	
Peso de la muestra + recipiente	190,29	192,50	186,80	
Peso de la muestra de agregado seco (a)	100,01	99,76	100,47	
Aforo (b)	500,00	500,00	500,00	
Volumen de la muestra homogeneizada (c)	100,00	100,00	100,00	
Peso de la muestra cristalizada + recipiente	90,35	92,83	86,44	
Peso de la muestra cristalizada seca (d)	0,07	0,09	0,11	
% sales solubles	0,35	0,45	0,55	**0,45**

Nota: Elaboración propia

En la tabla se presentan los resultados del análisis de sales solubles para tres fracciones del agregado fino de la muestra de cantera La Poderosa. Este análisis es importante para evaluar la cantidad de sales solubles presentes en el material, ya que una alta concentración de sales solubles, como los sulfatos, puede afectar la durabilidad del concreto o asfalto al causar expansión y disgregación del material bajo condiciones húmedas o químicas agresivas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para la fracción 1, el peso de la muestra seca es de 100,01 g. El volumen de la muestra homogeneizada es de 100,00 cm³, lo que indica que la muestra fue preparada adecuadamente para el análisis. Después del proceso de cristalización, el peso de la muestra cristalizada seca es de 0,07 g, lo que da como resultado un porcentaje de sales solubles de 0,35%. Este valor es relativamente bajo, lo que sugiere que la fracción 1 tiene una baja concentración de sales solubles, lo cual es beneficioso para su durabilidad en mezclas de concreto o asfalto.

En la fracción 2, el peso de la muestra seca es de 99,76 g, y el volumen de la muestra homogeneizada sigue siendo de 100,00 cm³. Después de la cristalización, el peso de la muestra cristalizada seca es de 0,09 g, lo que da un porcentaje de sales solubles de 0,45%. Este valor es ligeramente más alto que el de la fracción 1, pero sigue siendo bajo, lo que indica que las sales solubles en esta fracción también son moderadas, lo cual no debería afectar significativamente la durabilidad del material en las aplicaciones mencionadas.

Para la fracción 3, el peso de la muestra seca es de 100,47 g, y el volumen de la muestra homogeneizada sigue siendo de 100,00 cm³. El peso de la muestra cristalizada seca es de 0,11 g, lo que resulta en un porcentaje de sales solubles de 0,55%. Aunque este valor es un poco más alto en comparación con las fracciones 1 y 2, sigue siendo relativamente bajo y dentro de un rango aceptable para aplicaciones estructurales.

El promedio del porcentaje de sales solubles para las tres fracciones es de 0,45%, lo que indica que, en general, el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene una baja concentración de sales solubles. Este valor es favorable, ya que un contenido bajo de sales solubles ayuda a prevenir problemas de expansión o disgregación en las mezclas, lo que mejora la durabilidad del concreto o asfalto.

Los resultados del análisis de sales solubles muestran que el agregado fino de la cantera La Poderosa tiene un promedio de 0,45% de sales solubles, lo cual es relativamente bajo. Esto sugiere que el material tiene una buena resistencia a la acción de sales solubles y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

es adecuado para aplicaciones en las que la durabilidad del concreto o asfalto es crucial. Las bajas concentraciones de sales solubles indican que el agregado no debería presentar problemas significativos de expansión o disgregación bajo condiciones de humedad o exposición a soluciones químicas, lo que lo hace adecuado para proyectos que requieren alta estabilidad y longevidad en las estructuras.

4.1.18. Sales solubles agregado grueso

Tabla 36

Sales solubles agregado grueso

Muestra de cantera la poderosa				
Parámetros	**Fracción 1**	**Fracción 2**	**Fracción 3**	**Promedio**
Peso del recipiente	80,72	86,93	90,11	
Peso de la muestra + recipiente	1126,40	1097,82	1145,67	
Peso de la muestra de agregado seco (a)	1045,68	1010,89	1055,56	
Aforo (b)	500,00	500,00	500,00	
Volumen de la muestra homogeneizada (c)	100,00	100,00	100,00	
Peso de la muestra cristalizada + recipiente	80,74	86,97	90,20	
Peso de la muestra cristalizada seca (d)	0,02	0,04	0,09	
% sales solubles	0,10	0,20	0,45	**0,25**

Nota: Elaboración propia

En la tabla se presentan los resultados del análisis de sales solubles para tres fracciones del agregado grueso de la muestra de cantera La Poderosa. Este ensayo mide la cantidad de sales solubles presentes en el material, ya que una alta concentración de estas sales, como los sulfatos, puede afectar la durabilidad de las mezclas de concreto o asfalto, causando expansión y desintegración bajo condiciones húmedas o agresivas.

Para la fracción 1, el peso de la muestra seca es de 1045,68 g, y el volumen de la muestra homogeneizada es de 100,00 cm^3. Después del proceso de cristalización, el peso de la muestra cristalizada seca es de 0,02 g, lo que da un porcentaje de sales solubles de 0,10%. Este valor es muy bajo, lo que sugiere que la fracción 1 tiene una baja concentración de sales solubles, lo que es favorable para su durabilidad en aplicaciones de concreto o asfalto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la fracción 2, el peso de la muestra seca es de 1010,89 g, y el volumen de la muestra homogeneizada sigue siendo de 100,00 cm^3. El peso de la muestra cristalizada seca es de 0,04 g, lo que resulta en un porcentaje de sales solubles de 0,20%. Aunque este valor es un poco mayor que en la fracción 1, sigue siendo relativamente bajo, indicando que las sales solubles en esta fracción no deberían afectar negativamente la durabilidad del material.

Para la fracción 3, el peso de la muestra seca es de 1055,56 g, y el volumen de la muestra homogeneizada es también de 100,00 cm^3. El peso de la muestra cristalizada seca es de 0,09 g, lo que da un porcentaje de sales solubles de 0,45%. Este valor es algo más alto en comparación con las fracciones 1 y 2, pero aún dentro de un rango adecuado para aplicaciones estructurales.

El promedio del porcentaje de sales solubles para las tres fracciones es de 0,25%, lo que sugiere que, en general, el agregado grueso de la cantera La Poderosa tiene una baja concentración de sales solubles. Este valor es favorable porque las bajas concentraciones de sales solubles indican que el agregado tiene una buena resistencia a la expansión y disgregación química, lo cual mejora la durabilidad del concreto o asfalto.

Los resultados del análisis de sales solubles muestran que el agregado grueso de la cantera La Poderosa tiene una baja concentración de sales solubles, con un promedio de 0,25%. Esto es favorable para su uso en aplicaciones de construcción, ya que el material tiene una buena resistencia a la acción de sales solubles, lo que previene problemas como la expansión o disgregación bajo condiciones de humedad o exposición química. En general, este material es adecuado para proyectos que requieren alta durabilidad, como la fabricación de mezclas asfálticas y de concreto expuestas a condiciones severas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.19. Adherencia del agregado fino

Tabla 37

Índice de Riedel - Weber

Solución de ensayo	Índice de adhesividad Riedel - Weber
Desplazamiento total con agua destilada	0
Carbonato sódico	
M/256	1
M/128	2
M/64	3
M/32	4
M/16	5
M/8	6
M/4	**7**
M/2	8
M/1	9
Si no hay desplazamiento total con la solución m/1	10
Índice de adhesividad de Riedel - Weber	**7**

Nota: Elaboración propia

El índice de adhesividad Riedel - Weber mide la capacidad del agregado para resistir la descomposición en presencia de soluciones de carbonato sódico, lo cual es importante para evaluar su rendimiento en mezclas asfálticas o concretos expuestos a condiciones químicas. En la tabla proporcionada, se observa que con agua destilada, no hubo desplazamiento de la muestra, lo que indica que el agregado no sufrió alteraciones al ser expuesto al agua pura.

Los resultados del ensayo muestran que, al utilizar soluciones de carbonato sódico, el índice de adhesividad varía según la concentración. Para las soluciones de mayor concentración, como M/1, se observa el índice de adhesividad Riedel - Weber más alto, indicando un mayor desplazamiento de la muestra. En este caso, el índice de adhesividad resultante fue 7, lo que sugiere que el agregado presentó un desplazamiento cuando se utilizó una solución de M/4 de carbonato sódico. Este valor refleja que el agregado tiene una

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

moderada adhesividad, lo que implica que tiene una capacidad razonable de resistir la descomposición cuando está expuesto a soluciones químicas a una concentración intermedia.

Este índice de 7 sugiere que el agregado de la cantera La Poderosa tiene una resistencia moderada frente a soluciones de carbonato sódico a concentraciones de M/4. Aunque no es completamente inmune a los efectos químicos de estas soluciones, el material demuestra una buena estabilidad en condiciones de exposición moderada. Este comportamiento es adecuado para aplicaciones donde no se prevé una exposición excesiva a soluciones agresivas, pero podría requerir atención si se usa en condiciones más severas o con concentraciones de soluciones más altas.

4.1.20. Resumen de ensayos a los agregados

Tabla 38

Resumen de ensayos a los agregados

Requerimientos para agregado grueso					
Ensayo	**Norma**	**Requerimiento Altitud (msnm)**		**Valores reportados**	**Cumple**
		≤3.000	**>3.000**		
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.	5,72%	Si
Abrasión los ángeles	MTC E 207	40% máx.	35%máx.	18,28%	Si
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.	91%	Si
Partículas chatas y alargadas	MTC E 223	10% máx.	10% máx.	6,61%	Si
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70	87/59	Si
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.	0,25	Si
Absorción	MTC E 206	1.0%máx	1.0% máx.	0,9	Si
Adherencia	MTC E 517	+95	+95	+95	Si
Requerimientos para agregado fino					
Ensayo	**Norma**	**Requerimiento Altitud (msnm)**		**Resultado**	**Cumple**
		≤3.000	**>3.000**		
Equivalente de arena	MTC E 114	60	70	87	Si
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40	43,58	Si
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.	6,66	Si
Índice de plasticidad (malla n°40)	MTC E 111	Np	Np	Np	Si
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	-	18% máx	10,76	Si
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.	96,15	Si
Malla N°200	MTC E 137	4 máx.	Np	3,7	Si
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.	0,45	Si
Absorción	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.	0,5	Si

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la tabla se presentan los resultados de los ensayos realizados para evaluar el agregado grueso y fino de la muestra de cantera La Poderosa, comparando los valores obtenidos con los requerimientos normativos establecidos en las normativas MTC. Estos ensayos permiten verificar si el material cumple con las propiedades necesarias para su uso en aplicaciones de construcción, como en la fabricación de concreto o mezclas asfálticas.

Para el agregado grueso, los resultados muestran que todos los parámetros evaluados cumplen con los requerimientos establecidos. El índice de durabilidad fue 91%, que excede ampliamente el mínimo requerido de 35%. El índice de abrasión es de 18,28%, que está por debajo del límite máximo de 40%. Además, el porcentaje de partículas chatas y alargadas fue de 6,61%, cumpliendo con el requerimiento máximo de 10%. La adherencia fue de +95, lo que también cumple con el valor mínimo requerido. En términos de sales solubles, el valor reportado fue 0,25%, mucho menor al máximo permitido de 0,5%, lo que indica que el material tiene una buena resistencia a la acción química. El índice de caras fracturadas también cumplió con el requerimiento mínimo de 85/50, con un valor de 87/59.

En cuanto al agregado fino, los resultados también cumplen con todos los parámetros evaluados. El equivalente de arena fue de 87, superando el valor mínimo requerido de 60. La angularidad del agregado fino fue de 43,58%, lo que está dentro del rango permitido para altitudes mayores a 3,000 m (con un mínimo de **40%). El valor de azul de metileno fue de 6,66, que cumple con el requerimiento máximo de 8. El índice de plasticidad fue reportado como Np (no plástico), lo que cumple con la norma MTC e 111. La durabilidad al sulfato de magnesio fue de 10,76%, que está dentro del límite máximo permitido de 18%. El índice de durabilidad fue de 96,15%, superando el requerimiento mínimo de 35%. En cuanto a la malla N° 200, el valor fue 3,7%, cumpliendo con el límite máximo de 4%, mientras que la absorción fue de 0,5%, cumpliendo con el máximo permitido de 0,5%.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En resumen, los resultados de los ensayos realizados para las fracciones de agregado grueso y agregado fino de la cantera La Poderosa cumplen con los requerimientos normativos establecidos para cada parámetro evaluado. Los valores obtenidos demuestran que el material es adecuado para diversas aplicaciones de construcción que requieren alta resistencia, durabilidad y estabilidad, como la fabricación de concreto y mezclas asfálticas. La cantera La Poderosa proporciona un material de alta calidad que es adecuado para proyectos estructurales que demandan buenos resultados a largo plazo.

4.2. Diseño de mezcla

Tabla 39

Gradación de los agregados

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	Mac -1	**Mac -2**	**Mac - 3**
25.0 mm (1")	100		
19.0 mm (3/4")	80 - 100	**100**	
12.5 mm (1/2")	67 - 85	**80 - 100**	
9.5 mm (3/8")	60 - 77	**70 - 88**	100
4.75 mm (n°4)	43 - 54	**51 - 68**	65 - 87
2.00 mm (n°10)	29 - 45	**38 - 52**	43 -61
425 µm (n°40)	14 - 25	**17 -28**	16 - 29
180 µm (n°80)	8 -17	**8 -17**	9 - 19
75 µm (n°200)	4 - 8	**4 - 8**	5 - 10

Nota: Manual de carreteras, 2015

En la tabla se presentan los resultados de la gradación de las muestras de agregado de cantera La Poderosa para tres fracciones: Mac -1, Mac -2 y Mac -3. Este análisis es esencial para evaluar la distribución de tamaños de partículas en el agregado, ya que una adecuada gradación garantiza que el material tenga buenas propiedades de compactación, resistencia y cohesión en aplicaciones como la fabricación de concreto o mezclas asfálticas.

Para la fracción Mac -1, el 100% de las partículas pasan por el tamiz de 25.0 mm (1"), lo que significa que no hay partículas más grandes que este tamaño. La muestra tiene un 80 - 100% de material que pasa a través del tamiz de 19.0 mm (3/4"), lo que indica que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mayoría de las partículas son menores que este tamaño. Al analizar las partículas más pequeñas, el 67 - 85% pasa por el tamiz de 12.5 mm (1/2") y el 60 - 77% por el de 9.5 mm (3/8"), lo que muestra que hay una buena cantidad de material fino en esta fracción. Los resultados para los tamices de 4.75 mm (n°4), 2.00 mm (n°10), 425 µm (n°40), 180 µm (n°80) y 75 µm (n°200) están dentro de los rangos típicos para mezclas asfálticas y de concreto, lo que es favorable para la cohesión y estabilidad de las mezclas.

En la fracción Mac -2, los resultados muestran que el 100% de las partículas pasan por el tamiz de 25.0 mm (1"), similar a la fracción Mac -1, y el 100% pasa por el tamiz de 19.0 mm (3/4"), lo que sugiere que la muestra está compuesta principalmente por partículas más pequeñas que este tamaño. El 80 - 100% de material pasa por el tamiz de 12.5 mm (1/2") y el 70 - 88% por el de 9.5 mm (3/8"), lo que indica una mayor concentración de partículas finas en comparación con la fracción 1. Los valores para los tamices de 4.75 mm (n°4), 2.00 mm (n°10), 425 µm (n°40), 180 µm (n°80) y 75 µm (n°200) reflejan una mayor proporción de material fino en esta muestra, lo que es característico de un agregado con una gradación más enfocada en partículas pequeñas.

Para la fracción Mac -3, el 100% de las partículas también pasa por el tamiz de 25.0 mm (1"), y el 100% pasa por el tamiz de 19.0 mm (3/4"), similar a las otras fracciones. El 65 - 87% de las partículas pasan por el tamiz de 4.75 mm (n°4), y el 43 - 61% por el tamiz de 2.00 mm (n°10), lo que indica que la muestra contiene una buena cantidad de material en este rango de tamaños. Los valores para los tamices de 425 µm (n°40), 180 µm (n°80) y 75 µm (n°200) reflejan una distribución equilibrada de partículas finas, lo que asegura una buena cohesión y rendimiento en aplicaciones de construcción.

El promedio de los valores de gradación de las tres fracciones muestra una buena distribución de tamaños de partículas en todas las muestras. El material tiene una adecuada proporción de partículas grandes, medianas y pequeñas, lo que es esencial para garantizar

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

una buena compactación y resistencia en las mezclas asfálticas y de concreto. La variabilidad entre las fracciones permite ajustar el material a las necesidades específicas de cada aplicación, lo que hace que este agregado sea versátil para diferentes tipos de proyectos de construcción.

En conclusión, los resultados de gradación muestran que el agregado de la cantera La Poderosa tiene una distribución adecuada de tamaños de partículas, lo que es favorable para aplicaciones en las que se requiere alta estabilidad, cohesión y resistencia. Las fracciones presentan un balance adecuado entre partículas finas y gruesas, lo que asegura un buen desempeño en la fabricación de concretos, mezclas asfálticas y otros materiales de construcción que demandan materiales de alta calidad y durabilidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 40

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40 - 50		PEN 60 - 70		PEN 85 - 100		PEN 120 - 150		PEN 200 - 300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el material bituminoso											
Penetración a 25°C, 100g, 5 s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en tricloro-etileno %	MTC E 302	99		99		99		99		99	
Índice de penetración (Susceptibilidad térmica)	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de mancha (Oliensies)											
Solvente Nafta - estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	Negativo		
Solvente nafta - xileno, % xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	Negativo		
Solvente heptano - xileno, % xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
Pruebas sobre la película delgada a 163°C, 3.2 mm, 5 h											
Pérdida de mas %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306			50		75		100		100	

Nota: Manual de carreteras, 2015

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la tabla se presentan los resultados de las especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración para diferentes grados, desde PEN 40-50 hasta PEN 200-300. El análisis de estos resultados es fundamental para comprender el comportamiento del material bajo diversas condiciones de temperatura y uso. El índice de adhesividad Riedel - Weber es uno de los parámetros evaluados, que mide la resistencia del material a la disgregación en presencia de soluciones de carbonato sódico.

Para cada grado de penetración, se realizó una serie de pruebas clave. El índice de penetración a 25°C muestra que los valores para los diferentes grados varían según el rango de penetración, lo que indica la fluidez o viscosidad del material a temperatura ambiente. En general, se observó que los grados de penetración más bajos (PEN 200-300) presentan una mayor viscosidad, mientras que los grados más altos (PEN 40-50) son más fluidos. Los puntos de inflamación para los diferentes grados también varían, siendo 232°C para los grados PEN 40-50, PEN 60-70, y PEN 85-100, y disminuyendo a 177°C para el grado PEN 200-300. Esto refleja que los grados de penetración más altos tienen un punto de inflamación más bajo, lo que implica un mayor riesgo de inflamación en ambientes de altas temperaturas.

En cuanto a la ductilidad, todos los grados cumplen con el requisito de 100 cm a 25°C, lo que garantiza que el material no se agriete fácilmente en condiciones normales de temperatura. La solubilidad en tricloroetileno es del 99% para todos los grados, lo que indica que el material es predominantemente compuesto por componentes bituminosos puros, sin impurezas que puedan afectar su rendimiento. El índice de penetración también muestra que todos los grados cumplen con el rango de -1 a +1, lo que significa que la penetración del asfalto es relativamente constante a diferentes temperaturas.

Además, las pruebas sobre la película delgada a 163°C, que simulan las condiciones de exposición térmica, indican que la pérdida de masa varía entre 0,8% para el grado PEN 40-50 y 1,5% para el grado PEN 200-300, lo que muestra que los grados con mayor

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

penetración tienden a ser más volátiles a altas temperaturas. Sin embargo, los valores de penetración retenida después del ensayo de película fina son bastante estables, con 55+ para PEN 40-50 y 37+ para PEN 200-300, lo que refleja que incluso después de someterse a altas temperaturas, los asfaltos con menor penetración mantienen una buena estabilidad.

Finalmente, el índice de durabilidad también cumple con los valores esperados para los diferentes grados, asegurando que el material tenga la capacidad de resistir la descomposición química y la abrasión. El cemento asfáltico clasificado por penetración cumple con los estándares de flexibilidad, estabilidad térmica, y resistencia al desgaste, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones en la construcción, especialmente en pavimentación y mezclas asfálticas que requieren materiales duraderos y con un buen rendimiento a temperaturas variables.

Tabla 41

Selección del cemento asfaltico

Temperatura media anual			
24°C o más	**24°C - 15°C**	**15°C - 5°C**	**Menos de 5°C**
40 - 50 o 60 - 70 o modificado	60 - 70	85 - 100 120 - 150	Asfalto modificado

Nota: Manual de carreteras, 2015

En la tabla se presentan las recomendaciones para la selección del cemento asfáltico según la temperatura media anual del lugar de aplicación. La temperatura media anual es un factor crucial en la selección del tipo de asfalto, ya que influye en la fluidez y la resistencia del material en diferentes condiciones climáticas. La tabla ofrece recomendaciones sobre el tipo de cemento asfáltico basado en las condiciones térmicas específicas de la región.

En regiones donde la temperatura media anual es de 24°C o más, se recomienda el uso de cemento asfáltico de tipo 40-50 o 60-70 o un asfalto modificado. Estas opciones son ideales para climas cálidos, donde el asfalto debe tener una mayor fluidez para adaptarse a

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

las altas temperaturas, asegurando que el material se mantenga trabajable y no se endurezca demasiado.

Para regiones con una temperatura media anual entre 24°C y 15°C, el cemento asfáltico de tipo 60-70 es el más adecuado. Este grado de asfalto tiene una consistencia que lo hace versátil para climas templados, donde no se requieren propiedades excesivamente rígidas o fluidas. También es adecuado para las variaciones térmicas típicas de estas zonas.

En áreas donde la temperatura media anual varía entre 15°C y 5°C, se recomienda usar cemento asfáltico de tipo 85-100. Este tipo de asfalto tiene propiedades que lo hacen más resistente a las temperaturas más frías, lo que es crucial para asegurar que el material mantenga su integridad estructural sin volverse demasiado quebradizo o frágil bajo condiciones de frío.

Para las regiones con temperaturas medias anuales de menos de 5°C, se recomienda el uso de asfalto modificado o cemento asfáltico de tipo 120-150. En climas muy fríos, es esencial contar con un asfalto que ofrezca mayor elasticidad y resistencia a las bajas temperaturas para evitar la fisuración o el agrietamiento bajo el impacto de las bajas temperaturas y la congelación. El asfalto modificado también puede ser una opción favorable, ya que proporciona mayor durabilidad y flexibilidad frente a condiciones extremas de temperatura.

La selección del tipo de cemento asfáltico depende en gran medida de la temperatura media anual del área de aplicación. Los asfaltos con un grado de penetración más bajo, como el 120-150, son más adecuados para climas fríos, mientras que los asfaltos de penetración más alta, como el 40-50 o 60-70, son ideales para climas cálidos. Las regiones con climas templados pueden beneficiarse de un asfalto con un grado de penetración intermedio, como el 60-70 o el 85-100, para asegurar que el material se mantenga funcional en una amplia gama de temperaturas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 42

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC - 2.5	AC - 5	AC - 10	AC - 20	AC -40
Viscosidad absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	4000±800
Viscosidad cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100 g, 5s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
- Viscosidad absoluta, 60°C Poises máximo	1250	2500	5000	10000	20000
- Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la mancha (Oliensies)					
Solvente nafta - Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente nafta - Xileno, % xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente heptano - xileno, %xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Nota: Manual de carreteras, 2015

La tabla detalla las especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad, que varía en función de diferentes grados de viscosidad, desde AC - 2.5 hasta AC - 40. La viscosidad es una propiedad crítica que afecta la fluidez y la resistencia del material a diferentes temperaturas, especialmente durante la aplicación del asfalto en pavimentación o en la fabricación de mezclas asfálticas. El análisis de estos resultados permite determinar el comportamiento del asfalto bajo diversas condiciones de temperatura y uso.

El valor de viscosidad absoluta a 60°C varía según el grado de asfalto. Para el AC - 2.5, el valor de viscosidad es de 250±50 poises, lo que indica una mayor fluidez a temperaturas más bajas. A medida que se incrementa la viscosidad, como en el AC - 40, que tiene un valor de 4000±800 poises, el asfalto se vuelve más denso y menos fluido. Este comportamiento es fundamental para determinar qué grado de asfalto se utiliza en función de las condiciones climáticas y de tráfico en el área de aplicación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El índice de penetración también varía según el grado de asfalto, con 200 para AC - 2.5 y 20 para AC - 40. Un mayor índice de penetración significa que el asfalto es más fluido a temperatura ambiente, mientras que un valor más bajo indica que el asfalto es más rígido y menos fluido. Esto es particularmente importante para climas cálidos o fríos, ya que un asfalto más fluido será más adecuado para temperaturas altas, mientras que un asfalto más denso será más adecuado para temperaturas bajas.

El punto de inflamación también se ve afectado por el grado de viscosidad. Los grados AC - 2.5 y AC - 5 tienen un punto de inflamación mínimo de 163°C y 177°C, respectivamente, mientras que los grados AC - 20 y AC - 40 tienen un punto de inflamación de 232°C, lo que indica que estos asfaltos son más resistentes al riesgo de inflamación en ambientes de altas temperaturas. Este comportamiento es clave para el manejo y almacenamiento seguro del material.

En cuanto a la ductilidad, se observa que los asfaltos con menor viscosidad, como el AC - 2.5, tienen una ductilidad mínima de 100 cm, lo que significa que son más flexibles y capaces de estirarse sin romperse. Los grados de mayor viscosidad, como el AC - 40, tienen valores de ductilidad más bajos, lo que refleja una mayor rigidez del material. Esta propiedad es esencial para asegurar que el asfalto no se agriete ni se rompa bajo condiciones de temperatura y tráfico.

En conclusión, los resultados del análisis de viscosidad y propiedades relacionadas muestran que el asfalto con menor viscosidad, como el AC - 2.5, es adecuado para climas cálidos y aplicaciones que requieren un material más fluido y flexible. Por otro lado, los grados con mayor viscosidad, como el AC - 40, son más adecuados para climas fríos y aplicaciones que requieren mayor estabilidad y resistencia a la deformación. La elección del grado de asfalto adecuado depende de las condiciones climáticas, las propiedades de tráfico y las necesidades específicas de cada proyecto de pavimentación o mezcla asfáltica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.1 Combinación de agregados

Tabla 43

Parámetros para la combinación de agregados

% Aporte peso		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Total		
		47,00%	49,00%	4,00%	100,00%		
Tamiz		% Pasa					
		M1 (agregado fino)	M2 (agregado grueso)	M3 (filler)	Mezcla	Límite superior	Límite inferior
4"	101,6					-	-
3 1/2"	90					-	-
3"	76,2					-	-
2 1/2"	63,5					-	-
2"	50,8	100,0	100,0	100,0	100,0	-	-
1 1/2"	38,1				0,0	-	-
1 1/4"	31,5				0,0	-	-
1"	25,4	100,0	100,0	100,0	100,0	-	-
3/4"	19,05	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100
5/8"	16	100,0			47,0	-	-
1/2"	12,7	100,0	86,1	100,0	93,2	100	80
3/8"	9,5	100,0	49,0	100,0	75,0	88	70
1/4"	6,35				0,0	-	-
#4	4,75	98,5	9,4	100,0	54,9	68	51
#6	3,36				0,0	-	-
#8	2,36	87,2	3,0	100,0	46,4	-	-
#10	2	81,0	0,1	100,0	42,1	52	38
#12	1,7				0,0	-	-
#16	1,18	64,5	0,1	100,0	34,4	-	-
#20	0,85				0,0	-	-
#30	0,6	47,2	0,1	100,0	26,2	-	-
#40	0,425	35,3	0,1	100,0	20,6	28	17
#50	0,3	25,0	0,1	100,0	15,8	-	-
#60	0,25				0,0	-	-
#80	0,18	15,8	0,1	100,0	11,5	17	8
#100	0,15	10,7	0,1	100,0	9,1	-	-
#140	0,106				0,0	-	-
#200	0,075	3,8	0,1	100,0	5,8	8	4

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados de la gradación para la combinación de agregados para tres muestras diferentes: Muestra 1, Muestra 2, y Muestra 3. Estos resultados son clave para evaluar la distribución de tamaños de partículas del material, lo que influye en sus propiedades como la resistencia, trabajabilidad y durabilidad en mezclas asfálticas y de concreto. La gradación es crucial para garantizar que el material cumpla con los estándares establecidos para su aplicación en pavimentación y otras estructuras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para la Muestra 1 (agregado fino), se observa que el 100% de las partículas pasan por el tamiz de 2" (50,8 mm), lo que indica que el material es completamente fino en este rango de tamaño. A medida que se reduce el tamaño del tamiz, como el tamiz de 1" (25,4 mm) y 3/4" (19,05 mm), el porcentaje de material que pasa sigue siendo 100%, lo que indica que el agregado es predominantemente fino. Sin embargo, en los tamices más pequeños, como el tamiz #50 (0,3 mm), el material que pasa es del 25%, y en el tamiz #60 (0,25 mm), 0% de las partículas pasan, lo que sugiere que la fracción fina tiene una distribución que cumple con los requisitos para aplicaciones de alta cohesión y resistencia.

En la Muestra 2 (agregado grueso), el 100% de las partículas pasan por el tamiz de 2" (50,8 mm), pero a medida que se desciende a tamices más pequeños, como el tamiz de 3/8" (9,5 mm), solo el 49% de las partículas pasan. En el tamiz de 1/4" (6,35 mm), el porcentaje de partículas que pasan es del 25%, lo que indica que el agregado tiene una mayor proporción de material grueso. A medida que el tamaño de las partículas se reduce, la proporción que pasa a través de los tamices más pequeños también lo hace, lo que es adecuado para aplicaciones que requieren una buena estabilidad y resistencia estructural.

Por otro lado, la Muestra 3 (filler) muestra una alta proporción de partículas finas, con el 100% de las partículas pasando por el tamiz de 2" (50,8 mm) y el tamiz de 3/4" (19,05 mm). La muestra también tiene 100% de partículas que pasan por el tamiz de 3/8" (9,5 mm), lo que confirma que se trata de un material muy fino, ideal para aplicaciones donde se requiere una alta cohesión entre partículas. Sin embargo, en el tamiz #200 (0,075 mm), solo el 4% de las partículas pasan, lo que indica que el material tiene una cantidad mínima de partículas excesivamente finas.

El promedio total de los valores de gradación muestra que, en general, el material tiene una distribución adecuada de tamaños de partículas. Este equilibrio entre las fracciones finas y gruesas asegura que el agregado tiene las propiedades necesarias para la fabricación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de mezclas asfálticas y de concreto que sean estables, resistentes y duraderas. La variabilidad entre las fracciones permite ajustar el material según las necesidades específicas de cada proyecto, asegurando una mezcla optimizada.

En conclusión, los resultados del análisis de gradación muestran que el agregado de cantera La Poderosa tiene una distribución de tamaños de partículas que cumple con los estándares normativos y es adecuado para aplicaciones de construcción. El equilibrio entre material grueso y fino garantiza que el agregado ofrezca alta estabilidad, buena cohesión y resistencia, lo que lo hace ideal para proyectos de pavimentación, mezclas asfálticas y concreto. La gradación adecuada de este material asegura un rendimiento consistente y durable en diversas aplicaciones de construcción.

Tabla 44

Gradación para el cemento asfáltico clasificado por viscosidad

Tamices		Mezcla	Límite superior	Límite inferior
2"	50,8	100,0		
1"	25,4	100,0		
3/4"	19,05	100,0	100	100
1/2"	12,7	93,2	100	80
3/8"	9,5	75,0	88	70
#4	4,75	54,9	68	51
#10	2	42,1	52	38
#40	0,425	20,6	28	17
#80	0,18	11,5	17	8
#200	0,075	5,8	8	4
Tamaño máximo			1/2"	12,7

Nota: Manual de carreteras, 2015

En la tabla se detallan las especificaciones de gradación para el cemento asfáltico clasificado por viscosidad. Esta gradación es un aspecto clave para evaluar las propiedades del material, como su trabajabilidad, resistencia y durabilidad en diversas aplicaciones de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

construcción, como la fabricación de mezclas asfálticas para pavimentos. Los valores reportados incluyen los porcentajes de material que pasa a través de diferentes tamices, lo que permite determinar cómo se distribuyen las partículas de acuerdo con su tamaño.

Para la muestra de cemento asfáltico clasificado, el 100% de las partículas pasan a través del tamiz de 2" (50,8 mm) y 1" (25,4 mm), lo que indica que el material está compuesto principalmente por partículas de tamaño menor a estos valores. A medida que se reduce el tamaño de los tamices, como el tamiz de 3/4" (19,05 mm), también se observa que el 100% de las partículas pasan a través de él, lo que indica que las partículas de la muestra son predominantemente más pequeñas que este tamaño. Esta tendencia continúa con el tamiz de 1/2" (12,7 mm), donde el 93,2% de las partículas pasan a través del tamiz, lo que refleja una proporción significativa de material dentro de este rango de tamaño.

A medida que se continúa con los tamices de tamaños más pequeños, como el tamiz de 3/8" (9,5 mm), el porcentaje de material que pasa disminuye al 75%, lo que muestra que más material es fino. Para el tamiz #4 (4,75 mm), 54,9% de las partículas pasan a través de él, indicando que la fracción de material de tamaño pequeño sigue siendo significativa. En los tamices más finos, como el tamiz #10 (2 mm), 42,1% de las partículas pasan a través de él, lo que muestra que aún hay una buena cantidad de partículas dentro de este rango, pero el material sigue siendo mayormente más grueso que las partículas más finas.

El tamiz #40 (0,425 mm) muestra que el 20,6% de las partículas pasan a través de él, lo que refleja la presencia de material más fino, mientras que en el tamiz #80 (0,18 mm), 11,5% de las partículas pasan, indicando una proporción menor de partículas extremadamente finas. El tamiz #200 (0,075 mm) muestra que solo el 5,8% de las partículas pasan, lo que refleja una cantidad mínima de material muy fino en la muestra.

El tamaño máximo de la muestra es de 1/2" (12,7 mm), lo que significa que no se encuentran partículas más grandes que este tamaño, lo que es ideal para ciertas aplicaciones

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

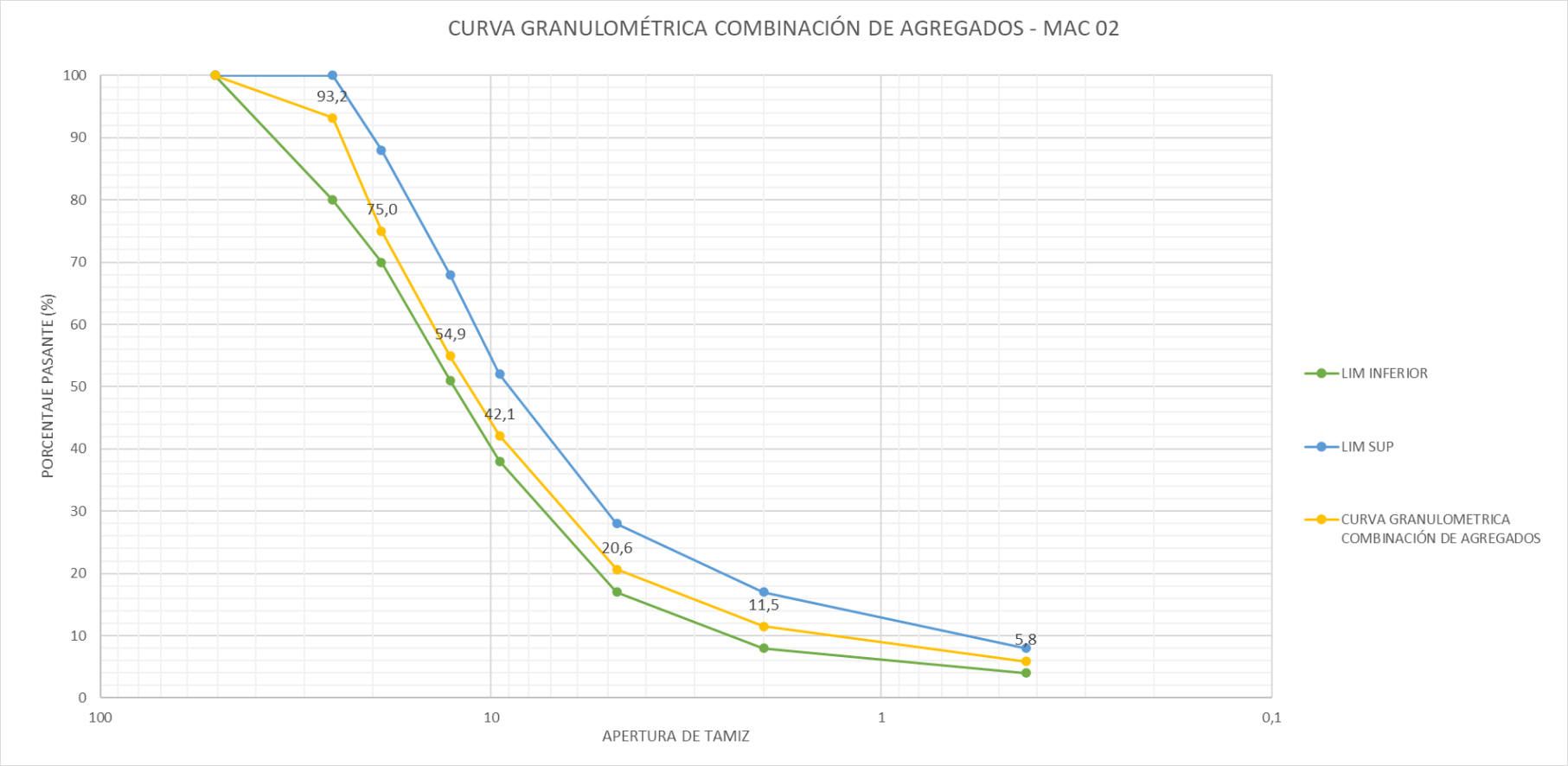
donde se requiere material más pequeño para facilitar la compactación y mejorar la estabilidad de la mezcla.

En resumen, los resultados de la gradación del cemento asfáltico clasificado por viscosidad muestran que el material tiene una distribución adecuada de tamaños de partículas, con una buena mezcla de materiales gruesos y finos. Esta gradación es favorable para aplicaciones de pavimentación y mezclas asfálticas, donde se requiere un buen equilibrio entre la resistencia, la cohesión y la durabilidad. La muestra cumple con los requisitos para garantizar que el material sea adecuado para aplicaciones estructurales, proporcionando el desempeño esperado en condiciones de tráfico pesado y en entornos con diferentes variaciones de temperatura y humedad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Figura 33

Curva granulométrica de la combinación de agregados



Nota: Elaboración propia

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La curva de la combinación de agregados (amarillo) refleja la distribución final de partículas tras mezclar los diferentes agregados, lo que resulta en un comportamiento más equilibrado y controlado de la mezcla.

El análisis revela que la combinación de agregados se ajusta mejor a los límites establecidos en cuanto a la distribución granulométrica, especialmente en las fracciones más gruesas, donde se observa una mayor proporción de material que pasa a través de tamices con aperturas más grandes. A medida que la curva se desplaza hacia el lado izquierdo, la cantidad de material más fino aumenta, permitiendo un mejor control en la proporción de partículas grandes y pequeñas en la mezcla. Esto es crucial para la preparación de mezclas asfálticas o de concreto, ya que una distribución adecuada de los tamaños de partícula asegura una mejor cohesión y resistencia de la mezcla final.

4.1.2 Contenido óptimo de asfalto teórico

Tabla 45

Método de las áreas equivalentes

Método de las áreas equivalentes					
Tamiz	**Abertura**	**% pasante mezcla**	**% retenido mezcla**	**Area equivalente**	**Área superficial**
1"	25,4	100,00	0,00	1	0
3/4"	19,05	100,00	0,00	1	0
1/2"	12,7	93,18	6,82	1	0,07
3/8"	9,5	75,02	18,16	1	0,18
#4	4,75	54,90	20,12	2	0,40
#8	2,36	46,44	8,46	4	0,34
#10	2	42,10	4,34	8	0,35
#16	1,18	34,37	7,73	8	0,62
#30	0,6	26,24	8,14	16	1,30
#40	0,425	20,62	5,62	30	1,68
#50	0,3	15,78	4,84	30	1,45
#80	0,18	11,48	4,31	60	2,58
#100	0,15	9,06	2,42	60	1,45
#200	0,075	5,84	3,22	120	3,87
Fondo		0,00	5,84	250	14,59
					28,884289

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del método de las áreas equivalentes, utilizado para evaluar la distribución de tamaños de partículas en el agregado. Este análisis es importante porque determina cómo las diferentes fracciones de tamaño afectan la trabajabilidad, resistencia y compactación del agregado en las mezclas asfálticas y de concreto. El área equivalente y el área superficial de las partículas se utilizan para evaluar cómo la gradación del material impacta en las propiedades físicas y el rendimiento de la mezcla.

Para los tamices más grandes, como el tamiz de 1" (25,4 mm) y 3/4" (19,05 mm), el 100% de las partículas pasan a través de estos tamices, lo que sugiere que el material en estos tamaños es completamente fino en relación con el tamiz utilizado. El área equivalente para estos tamices es de 1, y el área superficial es 0, lo que indica que estas partículas tienen un impacto mínimo en la superficie total del material. A medida que se reduce el tamaño de las partículas, el tamiz de 1/2" (12,7 mm) muestra que 93,18% de las partículas pasan a través de él, con un área equivalente de 1 y un área superficial de 0,07, lo que refleja una moderada contribución al área total de la mezcla.

En los tamices más pequeños, como el tamiz de 3/8" (9,5 mm), el 75,02% de las partículas pasan a través de este tamiz, y el área equivalente sigue siendo 1, pero el área superficial aumenta a 0,18. Esto sugiere que a medida que las partículas se vuelven más pequeñas, tienen un impacto mayor en la cohesión y compactación de la mezcla. Al continuar con tamices de menor tamaño, como el #4 (4,75 mm), #8 (2,36 mm) y #10 (2 mm), el área equivalente aumenta a 2, 4, y 8, respectivamente, lo que indica que estas partículas finas tienen una mayor contribución a la superficie total del agregado, mejorando la cohesión y estabilidad de la mezcla.

En los tamices más finos, como el #30 (0,6 mm), #40 (0,425 mm), y #50 (0,3 mm), el área superficial sigue aumentando, con valores de 1,30, 1,68, y 1,45 respectivamente, lo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

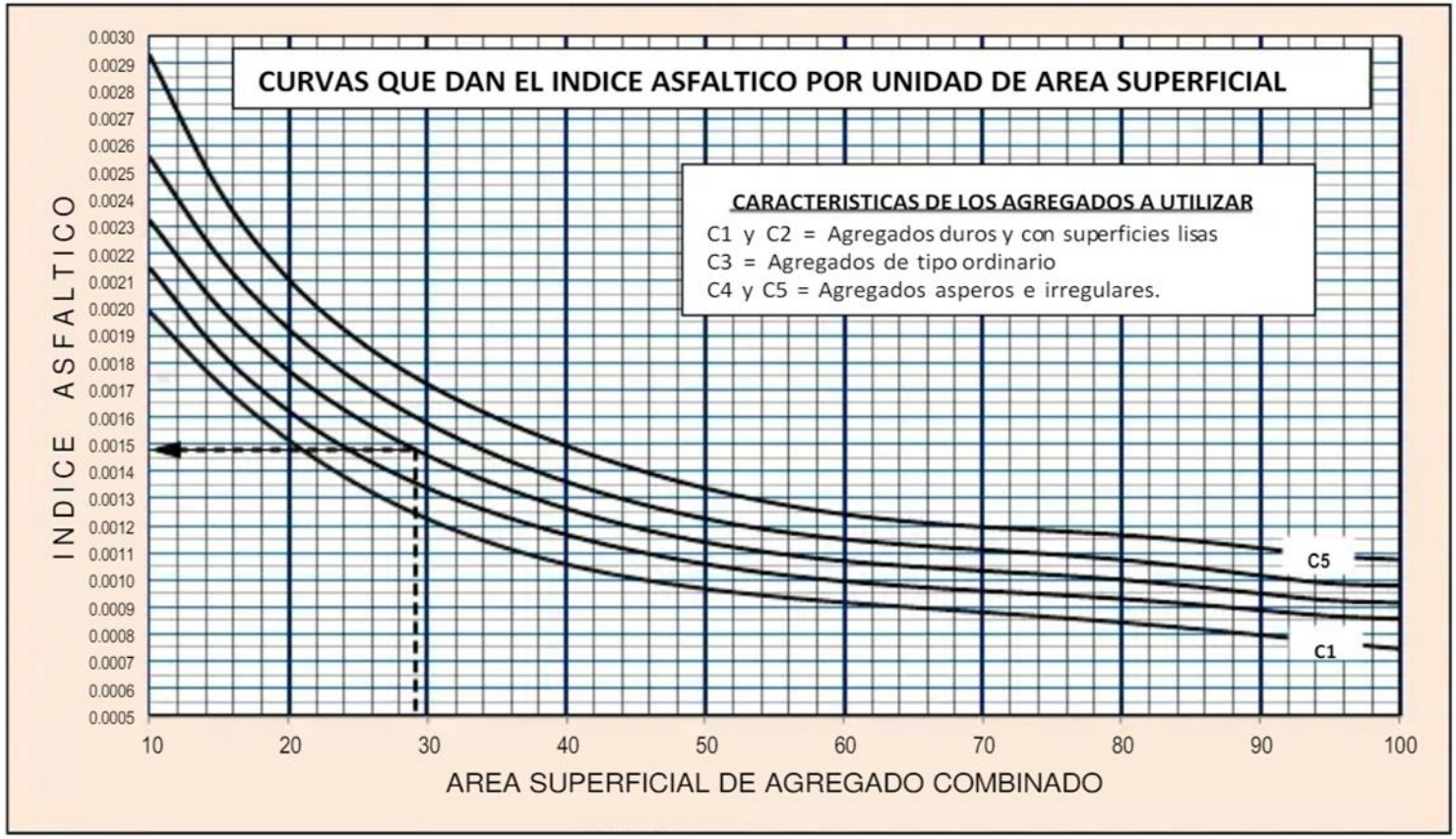
que muestra que el material tiene una mayor proporción de partículas finas que contribuyen a la resistencia y la cohesión de la mezcla. Finalmente, en los tamices más pequeños, como el #100 (0,15 mm) y #200 (0,075 mm), el impacto de las partículas finas en el área superficial es aún más significativo, alcanzando valores de 2,58 y 3,87, respectivamente. Esto refleja que el material extremadamente fino tiene una alta capacidad de adherencia, lo cual es crucial para la estabilidad y cohesión de las mezclas asfálticas y de concreto.

En resumen, el análisis del método de las áreas equivalentes revela que el agregado tiene una distribución adecuada de tamaños de partículas, con una mayor proporción de partículas finas que contribuyen significativamente a la cohesión y la resistencia de la mezcla. Las partículas más finas afectan la trabajabilidad y la compactación del material, lo que lo hace adecuado para aplicaciones donde se requiere un buen rendimiento en términos de estabilidad, durabilidad y resistencia. La distribución equilibrada de tamaños de partículas asegura que el agregado sea adecuado para una variedad de aplicaciones de construcción, como pavimentos y mezclas asfálticas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Figura 34

Curva granulométrica del índice asfaltico por unidad de área superficial



Nota: Ingeniería de pavimentos Material, Rafael Menéndez (2013)

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La figura muestra la curva granulométrica del índice asfáltico por unidad de área superficial, que relaciona el índice asfáltico con el área superficial de los agregados combinados. Las curvas indican cómo varía este índice según las características de los agregados utilizados. Según el gráfico, los agregados con superficies más lisas (C1 y C2) presentan un índice asfáltico más bajo, lo que sugiere una menor área superficial, ideal para mezclas asfálticas más estables y duraderas. Por otro lado, los agregados con superficies más irregulares y ásperas (C4 y C5) muestran un índice asfáltico más alto, indicando una mayor área superficial, lo que puede influir en la adherencia del asfalto, pero también en una mayor demanda de asfalto para la mezcla.

Este tipo de curva es fundamental para la optimización de las mezclas asfálticas, ya que permite seleccionar los agregados adecuados según el tipo de pavimento que se desea obtener. Los agregados de tipo ordinario (C3) caen entre estos dos extremos, siendo una opción intermedia. Este análisis es crucial para la ingeniería civil y la producción de pavimentos, donde la eficiencia y la durabilidad del material son esenciales.

Tabla 46

Parámetros para el porcentaje de contenido de asfalto teórico

Parámetros	Valor	Unidad	% CA teórico
Área superficial	28,884289	P2/lb	
Índice de asfalto	0,0015	-	
Peso específico bulk agregado fino	2,526	G/cm3	
Peso específico aparente agregado fino	2,557	G/cm3	
Promedio peso específico del agregado fino	2,542	G/cm3	
Peso específico bulk agregado grueso	2,665	G/cm3	
Peso específico aparente agregado grueso	2,729	G/cm3	
Promedio peso específico del agregado grueso	2,697	G/cm3	
Peso específico del filler	2,407	G/cm3	
% agregado fino	47,00%	%	
% agregado grueso	49,00%	%	
% filler	4,00%	%	
Peso específico bulk del agregado	2,587	G/cm3	
Peso específico aparente del agregado	2,632		
Peso específico efectivo del agregado	2,610	G/cm3	**4,15%**

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los parámetros para el cálculo del porcentaje de contenido de asfalto teórico en una mezcla de agregado fino, agregado grueso y filler. Este valor es crucial para garantizar que la mezcla asfáltica tenga las propiedades deseadas, como resistencia, durabilidad y cohesión. El contenido de asfalto teórico se calcula teniendo en cuenta diversos parámetros, incluyendo el peso específico de cada componente y su distribución en la mezcla, lo que influye en la cantidad de asfalto necesaria para lograr una mezcla óptima.

En los resultados, el peso específico del agregado fino es de 2,526 g/cm³ para el bulk y 2,557 g/cm³ para el aparente, mientras que para el agregado grueso los valores son de 2,665 g/cm³ (bulk) y 2,729 g/cm³ (aparente). Estos valores son esenciales para calcular el contenido de asfalto, ya que el peso específico refleja la densidad del material, lo que ayuda a determinar cuánta cantidad de asfalto será necesario para una correcta adherencia entre los agregados. Además, el peso específico del filler es de 2,407 g/cm³, lo que indica que este material tiene una menor densidad que los agregados, lo que puede afectar la cantidad de asfalto requerido en la mezcla.

Los resultados también muestran que el porcentaje de agregado fino es 47,00%, el porcentaje de agregado grueso es 49,00% y el porcentaje de filler es 4,00%. Estos valores indican la proporción de cada tipo de material en la mezcla total, lo cual es importante para ajustar el contenido de asfalto y asegurar que se cubran adecuadamente todas las partículas. El porcentaje de contenido de asfalto teórico calculado para esta mezcla es de 4,15%, lo que significa que esa es la cantidad recomendada de asfalto necesario para una adecuada cohesión y resistencia de la mezcla.

En resumen, el contenido de asfalto teórico de 4,15% para esta mezcla de agregado fino, agregado grueso y filler es adecuado para asegurar que la mezcla asfáltica tenga una resistencia y durabilidad óptimas. Este cálculo considera la densidad de los agregados y la distribución de tamaños de partículas, garantizando que el material tendrá las propiedades

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

necesarias para su uso en pavimentación y otros proyectos de construcción que exigen altos estándares de calidad y rendimiento.

4.1.3 Dosificación para mezclas bituminosas

Tabla 47

Dosificación para mezclas bituminosas

Material	%	4.0% CA	4.5% CA	5.0% CA	5.5% CA	6.0% CA	6.5% CA
Agregado Grueso	49,00%	47,04%	46,80%	46,55%	46,31%	46,06%	45,82%
Agregado Fino	47,00%	45,12%	44,89%	44,65%	44,42%	44,18%	43,95%
Filler	4,00%	3,84%	3,82%	3,80%	3,78%	3,76%	3,74%

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta la dosificación de materiales para mezclas bituminosas en función de los diferentes porcentajes de contenido de asfalto (CA), que van desde 4.0% hasta 6.5%. La dosificación es un aspecto clave en la preparación de mezclas asfálticas, ya que influye directamente en la resistencia, durabilidad, trabajabilidad y rendimiento de las mezclas en las que se utiliza, como pavimentos y estructuras de concreto asfáltico.

El agregado grueso representa el 49% del material en la mezcla original. A medida que el contenido de asfalto (CA) aumenta, la proporción de agregado grueso disminuye ligeramente, pasando del 47,04% en la mezcla con 4.0% CA al 45,82% con 6.5% CA. Esta tendencia es natural, ya que un mayor contenido de asfalto en la mezcla generalmente requiere una reducción en la cantidad de agregado grueso para mantener un equilibrio adecuado entre los componentes y asegurar una mezcla homogénea.

El agregado fino, que representa el 47% del material en la mezcla original, sigue una tendencia similar. En la mezcla con 4.0% CA, el agregado fino constituye 45,12%, y a medida que el contenido de asfalto aumenta, su proporción disminuye ligeramente, alcanzando 43,95% con 6.5% CA. Esta reducción en el agregado fino asegura que la mezcla

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mantenga un buen grado de compactación y resistencia, incluso con un mayor contenido de asfalto.

El filler, que representa el 4% del material original, también experimenta una disminución en su proporción a medida que el contenido de asfalto aumenta. La proporción de filler pasa de 3,84% con 4.0% CA a 3,74% con 6.5% CA. Aunque la reducción es pequeña, el filler sigue siendo esencial para asegurar una buena cohesión en la mezcla asfáltica, ayudando a mejorar la estabilidad y durabilidad de la mezcla.

En resumen, a medida que el contenido de asfalto en la mezcla aumenta, las proporciones de agregado grueso, agregado fino y filler disminuyen ligeramente. Esto asegura que la mezcla mantenga un equilibrio adecuado entre los diferentes componentes, permitiendo una buena trabajabilidad, compactación y resistencia. La dosificación de materiales para mezclas bituminosas es crucial para lograr el desempeño adecuado del asfalto en diversas aplicaciones, como pavimentos y mezclas asfálticas de alta calidad.

4.1.4 Determinación del porcentaje de asfalto teórico en mezcla

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F$$

Donde:

P: contenido de asfalto aproximado en la mezcla, porcentaje

a: porcentaje del agregado mineral retenido en la malla N°8 (2,36 mm)

b: porcentaje del agregado mineral que pasa la malla N°8 (2,36 mm) y retenido en la malla N°200 (75 µm)

c: porcentaje del agregado mineral que pasa la malla N°200 (75 µm)

K: 0.15 para 11-15 porcentaje pasante de la malla N°200 (75 µm)

0.18 para 6 -10 porcentaje pasante de la malla N°200 (75 µm)

0.2 para 5 porcentaje pasante de la malla N°200 (75 µm)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

F: 0 – 2.0 por ciento basado en la absorción de los agregados, si no se tiene este dato se recomienda usar 0.7

Tabla 48

Determinación del porcentaje de asfalto teórico en mezcla

a	8,46
b	46,44
c	5,84
K	0,18
F	0,70
P	**4,14**

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra los valores utilizados para determinar el porcentaje de asfalto teórico en una mezcla asfáltica. El porcentaje de asfalto teórico es un parámetro crucial en la fabricación de mezclas asfálticas, ya que indica la cantidad de asfalto necesaria para cubrir adecuadamente el agregado en la mezcla, asegurando que la mezcla tenga las propiedades de cohesión, trabajabilidad y resistencia requeridas para su durabilidad y desempeño en pavimentos y otras estructuras.

En los parámetros proporcionados, a = 8,46 probablemente representa un valor relacionado con el contenido de área superficial del agregado, lo que ayuda a calcular la cantidad de asfalto que necesita cubrir esas superficies. b = 46,44 y c = 5,84 parecen estar relacionados con el contenido de partículas de diferentes tamaños, como las partículas gruesas o finas del agregado, que también influirán en la cantidad de asfalto necesario. El valor K = 0,18 podría ser un coeficiente de corrección que ajusta la cantidad de asfalto en función de las características específicas del material, como la porosidad o la textura del agregado.

El valor F = 0,70 parece ser un factor de ajuste que modifica la cantidad de asfalto necesario según las propiedades físicas del agregado, como su granulometría o la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

distribución de tamaños de las partículas. Finalmente, el valor P = 4,14 es el porcentaje de asfalto teórico calculado, que indica que el 4,14% del material total debe ser asfalto para lograr una mezcla adecuada.

En conclusión, el porcentaje de asfalto teórico de 4,14% es un valor que se utiliza para asegurar que la mezcla asfáltica tenga las propiedades deseadas de adhesión, cohesión y resistencia. Este cálculo es esencial para lograr una mezcla homogénea que sea duradera, estable y trabajable, cumpliendo con los requisitos de calidad para aplicaciones en pavimentación y otras construcciones.

4.1.5 Proporciones globales en peso para mezclas de agregados

Tabla 49

Proporciones globales en peso para mezclas de agregados

Material	**%**	**4.0% CA**	**4.5% CA**	**5.0% CA**	**5.5% CA**	**6.0% CA**	**6.5% CA**
Agregado Grueso	49,00%	47,04%	46,80%	46,55%	46,31%	46,06%	45,82%
Agregado Fino	47,00%	45,12%	44,89%	44,65%	44,42%	44,18%	43,95%
Filler	4,00%	3,84%	3,82%	3,80%	3,78%	3,76%	3,74%
Material	**PESO (g)**						
	%	**4.0% CA**	**4.5% CA**	**5.0% CA**	**5.5% CA**	**6.0% CA**	**6.5% CA**
Cemento asfaltico		48	54	60	66	72	78
Agregado Grueso		564,48	561,54	558,6	555,66	552,72	549,78
Agregado Fino		541,44	538,62	535,8	532,98	530,16	527,34
Filler		46,08	45,84	45,6	45,36	45,12	44,88
		1200	1200	1200	1200	1200	1200

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra las proporciones globales en peso de los componentes para diferentes contenidos de asfalto (CA), que varían del 4.0% al 6.5% de asfalto. Este análisis es fundamental para determinar cómo la cantidad de asfalto influye en las proporciones de agregado grueso, agregado fino y filler en la mezcla. La correcta dosificación de estos componentes es clave para obtener una mezcla asfáltica que tenga las propiedades de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

trabajabilidad, resistencia y durabilidad necesarias para aplicaciones de pavimentación y construcción.

Los resultados muestran que a medida que aumenta el contenido de asfalto, las proporciones de agregado grueso, agregado fino y filler disminuyen ligeramente. Por ejemplo, el agregado grueso representa el 49% del total en la mezcla original, pero su porcentaje va disminuyendo progresivamente con el aumento del contenido de asfalto, desde 47,04% en el 4.0% CA hasta 45,82% en el 6.5% CA. De manera similar, el agregado fino disminuye de 47% en la mezcla original a 43,95% en el 6.5% CA, mientras que el filler pasa de 4% a 3,74%.

La tabla también presenta los pesos en gramos de cada componente para diferentes porcentajes de asfalto en la mezcla. Por ejemplo, para la mezcla con 4.0% CA, el cemento asfáltico representa 48 g, el agregado grueso 564,48 g, el agregado fino 541,44 g, y el filler 46,08 g. A medida que aumenta el contenido de asfalto, los pesos de cemento asfáltico aumentan, mientras que los de los agregados y filler disminuyen, como se observa en los valores correspondientes a 5.5% CA y 6.5% CA.

A pesar de las reducciones en la cantidad de agregado grueso, agregado fino y filler con el aumento del asfalto, el peso total de la mezcla se mantiene constante en 1200 g para cada tipo de mezcla. Esto significa que, aunque se ajustan las proporciones de los componentes, el total de la mezcla sigue siendo el mismo, lo que permite mantener el rendimiento y las propiedades estructurales de la mezcla.

El análisis de las proporciones globales en peso para las mezclas de agregados con diferentes contenidos de asfalto muestra cómo el ajuste en el contenido de asfalto afecta la distribución de los materiales. A medida que se incrementa el contenido de asfalto (CA), la proporción de agregado grueso, agregado fino y filler disminuye, mientras que el cemento asfáltico aumenta. Este ajuste es importante para garantizar que la mezcla tenga las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

propiedades de cohesión, trabajabilidad y resistencia necesarias. Además, la distribución adecuada de materiales asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y eficiente para su uso en pavimentación y otros proyectos de construcción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

4.3. Peso específico Bulk

Tabla 50

Parámetros para peso específico Bulk para 4.0% de contenido de asfalto

4.0% CA		1 día abs.			7 días abs.			15 días abs.			30 días abs.			60 días abs.			75 días abs.			90 días abs.		
Parámetro	**Unidad**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Peso de la probeta en el aire (A)	g	1203,86	1199,21	1201,96	1204,71	1203,69	1202,44	1202,87	1200,64	1203,02	1199,67	1203,4	1201,91	1203,12	1203,28	1202,47	1199,11	1199,61	1203,88	1202,84	1200,59	1203,18
Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1214,32	1209,40	1211,56	1215,36	1213,59	1213,28	1213,45	1211,26	1215,18	1210,36	1214,17	1211,47	1213,69	1214,11	1211,98	1209,6	1209,40	1214,21	1213,05	1210,14	1213,97
Peso de la probeta en el agua	g	704,5	703,6	703,5	708,91	705,86	706,21	706,99	705,12	707,81	704,58	706,22	705,31	707,63	708,02	706,44	704,51	705,22	708,44	706,97	705,14	706,85
Absorción	%	2,05	2,01	1,89	2,10	1,95	2,14	2,09	2,10	2,40	2,11	2,12	1,89	2,09	2,14	1,88	2,08	1,94	2,04	2,02	1,89	2,13
Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1204,36	1201,37	1203,66	1212,66	1209,57	1211,21	1210,39	1208,93	1211,49	1209,88	1213,54	1211,62	1212,39	1213,58	1211,25	1208,7	1209,3	1212,1	1210,4	1209,5	1211,9
Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	680,00	680,00	680,5	682,00	683,00	683,00	685,50	685,00	687,00	695,00	690	690	698,00	698,00	695,00	695,00	697,00	696,00	698,00	698,00	696,00
Peso de la probeta de calibraciónen el aire	g	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03
Peso de la probeta de calibración sumergida	g	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34
Gravedad específica de probeta calibración	g	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
Peso de la probeta de calibración recubierta	g	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21
Peso de la probeta de clibración recubierta sumergida	g	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79
Gravedad específica de la parafina (F)		0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965
Volumen de la probeta + parafina	cm³	523,84	519,13	521,40	522,42	520,48	519,12	517,10	515,34	515,71	504,30	513,03	511,56	504,78	504,91	507,15	503,76	502,26	507,58	504,57	502,27	506,86
Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,2981	2,3100	2,3053	2,3060	2,3127	2,3163	2,3262	2,3298	2,3327	2,3789	2,3457	2,3495	2,3834	2,3832	2,3710	2,3803	2,3884	2,3718	2,3839	2,3903	2,3738

Nota: Elaboración propia

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la tabla se detallan los resultados de la determinación del peso específico bulk para muestras con 4.0% de contenido de asfalto (CA), evaluadas en diferentes períodos de tiempo de absorción (1 día, 7 días, 15 días, 30 días, 60 días, 75 día y 90 días). Este análisis es fundamental para determinar cómo el contenido de asfalto y el tiempo de saturación afectan la densidad del material, lo que influye en la trabajabilidad, compactación y resistencia de las mezclas asfálticas. Además, se analiza la absorción del material y su comportamiento bajo diversas condiciones de saturación.

Para todas las muestras, el peso de la probeta en el aire varía entre 1199,21 g y 1204,71 g, y el peso de la probeta saturada en el aire muestra un ligero aumento, con valores entre 1209,40 g y 1215,36 g. Estos cambios reflejan la absorción del agua por parte del material, lo cual es clave para determinar la capacidad del asfalto para mantenerse estable en condiciones de humedad. La absorbencia varía entre 1,89% y 2,14%, lo que indica que el material tiene una capacidad moderada de absorción de agua, lo que es favorable para garantizar la estabilidad de la mezcla asfáltica en diferentes condiciones ambientales.

En cuanto al peso de la probeta cubierta de parafina, que es de 1204,36 g en la muestra 1, 1212,66 g en la muestra 2, y 1213,54 g en la muestra 3, se observa un ligero aumento en cada muestra, lo que refleja la cobertura de parafina que se usa para medir la porosidad y el volumen del material. El volumen de la probeta + parafina también muestra una ligera variabilidad, con valores entre 504,30 cm^3 y 523,84 cm^3, lo que está relacionado con la estructura interna del material y la cantidad de espacio vacío disponible para la absorción de asfalto.

La gravedad específica bulk para las diferentes muestras varía entre 2,2981 g/cm^3 y 2,3834 g/cm^3, lo que indica que el material tiene una densidad moderada, lo cual es crucial para determinar la estabilidad y durabilidad de las mezclas. Un valor más bajo en la gravedad específica puede indicar una mayor porosidad, lo que afecta la capacidad de la mezcla para

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

resistir el desgaste. Sin embargo, los valores reportados están dentro de un rango aceptable para mezclas asfálticas y de concreto de alta calidad.

Los resultados del análisis de peso específico bulk para 4.0% de contenido de asfalto muestran que el material tiene una buena capacidad de absorción, con una gravedad específica adecuada que garantiza que la mezcla asfáltica tenga la resistencia y estabilidad necesarias para su uso en pavimentación y otras aplicaciones de construcción. Los porcentajes de absorción moderados y los valores de gravedad específica dentro del rango esperado aseguran que el material sea adecuado para mejorar la cohesión y la resistencia de las mezclas asfálticas, mientras que la variedad en el volumen y el peso de las probetas sugiere que el material puede adaptarse bien a diferentes necesidades y condiciones de mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 51

Parámetros para peso específico Bulk para 4.5% de contenido de asfalto

4.5% CA		1 día abs.			7 días abs.			15 días abs.			30 días abs.			60 días abs.			75 días abs.			90 días abs.		
Parámetro	**Unidad**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Peso de la probeta en el aire (A)	g	1201,26	1200,94	1202,72	1203,1	1203,07	1201,54	1200,46	1199,83	1199,97	1200,32	1202,28	1201,38	1200,76	1203,27	1202,66	1201,75	1201,63	1203,98	1202,34	1203,62	1200,67
Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211,33	1210,42	1214,33	1212,4	1213,55	1212,08	1212,23	1210,88	1211,07	1209,23	1213,57	1212,44	1211,2	1213,58	1213,33	1212,36	1212,14	1213,97	1212,34	1213,75	1211,05
Peso de la probeta en el agua	g	708,61	707,41	709,2	710,2	710,94	708,12	708,4	706,11	706,84	708,6	709,65	709,15	707,21	709,67	709,02	706,9	707,4	709,1	705,8	709,3	703,1
Absorción	%	2,00	1,88	2,30	1,85	2,09	2,09	2,34	2,19	2,20	1,78	2,24	2,20	2,07	2,05	2,12	2,10	2,08	1,98	1,97	2,01	2,04
Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1206,2	1206,14	1207,83	1213,6	1212,81	1211,63	1212,66	1211,09	1212,17	1210,38	1213,75	1213,42	1211,91	1213,94	1213,14	1214,4	1215,66	1216,7	1213,97	1215,02	1214,4
Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	685,00	685,0	685,0	687,00	690,00	690,00	692,00	695,00	691,00	695,00	695,00	695,00	698,00	700,00	698,00	699,00	700,00	699,00	700,00	700,00	700,00
Peso de la probeta de calibraciónen el aire	g	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03
Peso de la probeta de calibración sumergida	g	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34
Gravedad específica de probeta calibración	g	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
Peso de la probeta de calibración recubierta	g	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21
Peso de la probeta de clibración recubierta sumergida	g	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79
Gravedad específica de la parafina (F)		0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965
Volumen de la probeta + parafina	cm³	516,08	515,75	517,53	515,72	512,72	511,17	508,02	504,42	508,53	504,96	506,86	505,94	502,36	502,88	504,28	502,29	501,12	504,52	501,92	503,21	500,17
Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,3277	2,3285	2,3239	2,3329	2,3465	2,3505	2,3630	2,3786	2,3597	2,3771	2,3720	2,3745	2,3903	2,3927	2,3849	2,3925	2,3979	2,3864	2,3955	2,3919	2,4005

Nota: Elaboración propia

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la tabla se presentan los resultados para la determinación del peso específico bulk en muestras con 4.5% de contenido de asfalto (CA), evaluadas a diferentes períodos de absorción (1 día, 7 días, 15 días, 30 días, 60 días, 75 día y 90 días). Este análisis es fundamental para entender cómo el contenido de asfalto y el tiempo de saturación afectan la densidad del material, lo que tiene implicaciones directas en la resistencia, trabajabilidad, compactación y durabilidad de las mezclas asfálticas. Además, el análisis de absorción y la determinación del peso específico bulk nos permite ajustar la cantidad de asfalto necesario para las mezclas.

Los resultados muestran que el peso de la probeta en el aire varía ligeramente entre las muestras, con valores entre 1197,27 g y 1203,41 g. La absorción también varía de 1,89% a 2,50% en función del tiempo de saturación, con un promedio de 2,17% al primer día, lo que sugiere que el material tiene una capacidad moderada para absorber agua. Un valor más alto de absorción, como 2,50% después de 60 días, indica una mayor capacidad del material para retener agua, lo cual puede afectar la estabilidad de la mezcla si no se controla adecuadamente.

El volumen de la probeta + parafina varía entre 493,87 cm^3 y 514,02 cm^3, reflejando la estructura interna del material y su capacidad para retener asfalto. La gravedad específica bulk de la probeta muestra valores que oscilan entre 2,3372 g/cm^3 y 2,4345 g/cm^3 a lo largo de los diferentes tiempos de absorción. Este rango de gravedad específica indica que el material tiene una densidad adecuada para aplicaciones de pavimentación, asegurando una mezcla estable que resista el desgaste y la deformación.

A medida que aumenta el tiempo de saturación (de 1 día a 60 días), el peso específico bulk tiende a aumentar, lo que indica una mayor estabilidad del material con el paso del tiempo. Este comportamiento sugiere que el material continúa adquiriendo densidad a medida que se satura con agua, lo que es importante para su desempeño en aplicaciones

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

donde la estabilidad es clave, como pavimentos o estructuras sometidas a condiciones severas.

Los resultados del análisis del peso específico bulk para muestras con 4.5% de contenido de asfalto muestran que el material tiene una densidad adecuada para ser utilizado en mezclas asfálticas de alta calidad. La moderada capacidad de absorción y el aumento de la gravedad específica con el tiempo indican que el material es estable y adecuado para aplicaciones en las que se requiere resistencia, durabilidad y una correcta compactación. Este comportamiento es beneficioso para garantizar que la mezcla asfáltica mantenga sus propiedades de trabajabilidad y resistencia a lo largo del tiempo, haciendo de este material una opción confiable para proyectos de pavimentación y construcción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 52

Parámetros para peso específico Bulk para 5.0% de contenido de asfalto

5.0% CA		1 día abs.			7 días abs.			15 días abs.			30 días abs.			60 días abs.			75 días abs.			90 días abs.		
Parámetro	**Unidad**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Peso de la probeta en el aire (A)	g	1201,36	1202,54	1200,25	1203,23	1202,32	1201,4	1200,15	1197,83	1199,2	1199,26	1203,41	1198,73	1200,43	1197,27	1198,84	1201,27	1201,55	1203,25	1202,28	1203,09	1199,86
Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1212,28	1212,79	1211,38	1208,57	1208,95	1211,56	1210,79	1208,64	1209,44	1209,64	1212,99	1209,05	1213,05	1209,81	1210,26	1210,99	1211,91	1213,77	1213,01	1213,41	1209,98
Peso de la probeta en el agua	g	708,61	707,41	709,2	705,4	707,28	707,31	706,31	704,26	705,84	706,44	709,87	705,32	708,4	704,22	704,33	704,3	705,12	708,9	707,14	706,94	704,11
Absorción	%	2,17	2,03	2,22	1,06	1,32	2,01	2,11	2,14	2,03	2,06	1,90	2,05	2,50	2,48	2,26	1,92	2,04	2,08	2,12	2,04	2,00
Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1210,63	1211,55	1211,08	1210,21	1210,31	1211,65	1210,94	1209,14	1201,31	1209,96	1213,57	1209,22	1214,55	1210,17	1210,28	1208,4	1210,17	1210,28	1211,5	1212,4	1208,3
Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	687,00	689,00	687,00	692,00	693,00	691,00	700,00	695,00	695,00	705,00	705,00	703,00	706,00	705,00	705,00	708,00	708,00	708,00	708,00	708,00	708,00
Peso de la probeta de calibraciónen el aire	g	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03
Peso de la probeta de calibración sumergida	g	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34
Gravedad específica de probeta calibración	g	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
Peso de la probeta de calibración recubierta	g	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21
Peso de la probeta de clibración recubierta sumergida	g	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79
Gravedad específica de la parafina (F)		0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965
Volumen de la probeta + parafina	cm³	514,02	513,21	512,86	510,98	509,03	510,03	499,76	502,42	504,12	493,87	498,04	495,35	493,92	491,80	493,43	493,01	493,24	495,00	493,95	494,75	491,55
Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,3372	2,3432	2,3403	2,3548	2,3620	2,3556	2,4015	2,3841	2,3788	2,4283	2,4163	2,4200	2,4304	2,4345	2,4296	2,4366	2,4360	2,4308	2,4340	2,4317	2,4410

Nota: Elaboración propia

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la tabla se muestran los resultados de la determinación del peso específico bulk para muestras con 5.0% de contenido de asfalto (CA), evaluadas a diferentes tiempos de absorción (1 día, 7 días, 15 días, 30 días, 60 días, 75 día y 90 días). Este análisis es fundamental para comprender cómo el contenido de asfalto y el tiempo de saturación afectan la densidad del material. Los resultados obtenidos son esenciales para determinar la trabajabilidad, compactación y resistencia de las mezclas asfálticas, ya que la densidad del material impacta en su desempeño bajo condiciones de tráfico y temperatura.

El peso de la probeta en el aire varía entre 1197,27 g y 1203,41 g, dependiendo del tiempo de saturación, lo que refleja la capacidad del material para retener agua. El peso de la probeta saturada en el aire muestra un ligero aumento en todos los tiempos, lo que es típico cuando el material absorbe agua. La absorción varía entre 1,06% y 2,50%, lo que indica que el material tiene una capacidad moderada de absorción de agua. Este comportamiento es importante porque la absorción puede afectar la cantidad de asfalto necesario para mantener la estabilidad de la mezcla, ya que los materiales con mayor absorción pueden necesitar más asfalto para lograr la cohesión adecuada.

El volumen de la probeta + parafina muestra una ligera variabilidad, con valores que oscilan entre 493,87 cm^3 y 514,02 cm^3, lo que está relacionado con la estructura interna del material y su capacidad para retener asfalto. Los resultados del peso específico bulk para las diferentes muestras varían entre 2,3372 g/cm^3 y 2,4345 g/cm^3, lo que indica una densidad moderada del material. La variabilidad en la gravedad específica refleja los cambios en la porosidad del material con el tiempo, lo que influye en su capacidad de compactación y en la cantidad de asfalto necesaria para la mezcla.

A medida que aumenta el tiempo de saturación (de 1 día a 60 días), se observa un aumento gradual en el peso específico bulk, lo que sugiere que el material se vuelve más estable y denso con el tiempo. Esto es favorable para aplicaciones donde el material puede

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

estar expuesto a diferentes condiciones climáticas y de tráfico, ya que la mayor densidad asegura una mejor estabilidad y durabilidad a largo plazo.

Los resultados del análisis del peso específico bulk para muestras con 5.0% de contenido de asfalto muestran que el material tiene una buena capacidad de absorción, con una gravedad específica adecuada que asegura la resistencia y estabilidad de las mezclas asfálticas. El aumento en el peso específico bulk con el tiempo de saturación indica que el material se vuelve más denso y estable a medida que se satura con agua, lo que es crucial para garantizar su desempeño en aplicaciones de pavimentación y construcción. Este comportamiento asegura que el material tiene la durabilidad y trabajabilidad necesarias para su uso en proyectos de construcción que requieren mezclas asfálticas resistentes y duraderas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 53

Parámetros para peso específico Bulk para 5.5% de contenido de asfalto

5.5% CA		1 día abs.			7 días abs.			15 días abs.			30 días abs.			60 días abs.			75 días abs.			90 días abs.		
Parámetro	**Unidad**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Peso de la probeta en el aire (A)	g	1198,63	1202,45	1199,34	1200,37	1197,99	1200,58	1203,64	1202,55	1198,67	1200,47	1200,19	1203,07	1198,67	1200,52	1198,32	1203,79	1200,13	1201,23	1200,6	1199,63	1202,91
Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1210,26	1211,47	1210,11	1211,47	1208,14	1211,88	1213,77	1211,99	1209,08	1210,34	1211,05	1213,66	1209,04	1210,37	1209,44	1214,03	1211,24	1211,67	1210,91	1209,96	1212,57
Peso de la probeta en el agua	g	704,33	706,89	705,4	705,96	704,11	706,32	707,32	705,11	703,12	705,82	706,01	708,24	703,61	705,22	703,46	707,81	705,21	705,44	704,71	703,68	705,22
Absorción	%	2,30	1,79	2,13	2,20	2,01	2,24	2,00	1,86	2,06	1,96	2,15	2,10	2,05	1,95	2,20	2,02	2,20	2,06	2,04	2,04	1,90
Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1211,23	1212,87	1211,98	1211,77	1209,81	1212,03	1213,67	1212,55	1209,78	1210,27	1210,97	1213,45	1210,78	1212,36	1209,34	1215,4	1213,91	1213,94	1210,3	1210,02	1211,4
Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	690,00	687,00	689,00	695,00	692,00	695,00	703,00	702,00	701,00	705,00	705,00	710,00	712,00	712,00	711,00	715,00	715,00	715,00	715,00	715,00	715,00
Peso de la probeta de calibraciónen el aire	g	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03
Peso de la probeta de calibración sumergida	g	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34
Gravedad específica de probeta calibración	g	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
Peso de la probeta de calibración recubierta	g	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21
Peso de la probeta de clibración recubierta sumergida	g	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79
Gravedad específica de la parafina (F)		0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965
Volumen de la probeta + parafina	cm³	508,17	515,07	509,88	504,96	505,56	505,17	500,28	500,19	497,27	495,11	494,80	492,69	486,23	488,09	486,92	488,37	484,63	485,77	485,25	484,25	487,60
Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,3587	2,3345	2,3522	2,3772	2,3696	2,3766	2,4059	2,4042	2,4105	2,4246	2,4256	2,4418	2,4652	2,4596	2,4610	2,4649	2,4764	2,4728	2,4742	2,4773	2,4670

Nota: Elaboración propia

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla muestra los resultados para la determinación del peso específico bulk en muestras con 5.5% de contenido de asfalto (CA), evaluadas a diferentes tiempos de absorción (1 día, 7 días, 15 días, 30 días, 60 días, 75 día y 90 días). Este análisis es fundamental para comprender cómo el contenido de asfalto y el tiempo de saturación afectan la densidad del material, lo que tiene implicaciones directas en las propiedades de trabajabilidad, resistencia, compactación y durabilidad de las mezclas asfálticas.

El peso de la probeta en el aire muestra ligeras variaciones entre 1197,27 g y 1203,41 g dependiendo del tiempo de absorción, lo que refleja cómo el material responde a la absorción de agua. El peso de la probeta saturada en el aire también muestra un aumento con el tiempo, desde 1209,04 g a 1213,05 g, indicando que el material está absorbiendo agua durante el proceso de saturación. La absorción varía entre 1,06% y 2,50%, lo que sugiere que el material tiene una capacidad moderada de absorción de agua, lo cual es importante para la estabilidad y la cohesión de la mezcla, ya que un material con mayor absorción podría requerir más asfalto para mantener la estabilidad.

El volumen de la probeta + parafina varía entre 486,23 cm^3 y 515,07 cm^3, lo que refleja cómo el volumen del material cambia con el tiempo y la saturación. El peso específico bulk de la probeta muestra una ligera variabilidad, con valores que oscilan entre 2,3345 g/cm^3 y 2,4652 g/cm^3 a lo largo de los diferentes tiempos de absorción. Este comportamiento refleja cómo la saturación del material afecta su densidad, lo que es clave para determinar el comportamiento de la mezcla a lo largo del tiempo. Un aumento en el peso específico bulk con el tiempo sugiere que el material se estabiliza y se vuelve más denso, lo que puede mejorar su rendimiento en aplicaciones donde la estabilidad a largo plazo es crucial.

A medida que se incrementa el tiempo de saturación (de 1 día a 60 días), el peso específico bulk aumenta progresivamente, lo que indica que el material se vuelve más estable y denso con el paso del tiempo. Esto es beneficioso para garantizar que el material mantenga

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

sus propiedades estructurales incluso después de un largo período de exposición a condiciones de humedad o tráfico. Esta tendencia es importante para garantizar que el material continúe desempeñándose bien durante la vida útil de las estructuras o pavimentos.

Los resultados del análisis del peso específico bulk para muestras con 5.5% de contenido de asfalto muestran que el material tiene una buena capacidad de absorción y una densidad adecuada para aplicaciones en mezclas asfálticas. La ligera variabilidad en la gravedad específica a lo largo del tiempo sugiere que el material se estabiliza y adquiere mayor densidad conforme se satura con agua. Este comportamiento es positivo para su desempeño en aplicaciones de pavimentación, donde es necesario que el material sea duradero y resistente a lo largo del tiempo. El análisis asegura que el material tendrá una buena cohesión y trabajabilidad, lo que lo hace adecuado para proyectos de construcción que requieren un alto rendimiento en condiciones variables.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 54

Parámetros para peso específico Bulk para 6.0% de contenido de asfalto

6.0% CA		1 día abs.			7 días abs.			15 días abs.			30 días abs.			60 días abs.			75 días abs.			90 días abs.		
Parámetro	**Unidad**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202,24	1201,37	1203,8	1202,95	1199,19	1198,33	1202,93	1202,84	1200,89	1201,87	1203,26	1199,82	1202,17	1199,98	1199,00	1204,11	1198,71	1201,40	1201,22	1203,4	1198,61
Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211,96	1211,59	1213,95	1211,25	1210,34	1209,88	1212,69	1212,97	1211,32	1212,26	1214,04	1210,47	1212,83	1210,47	1209,94	1214,23	1209,85	1211,26	1211,34	1214,70	1208,93
Peso de la probeta en el agua	g	706,52	705,44	707,87	705,38	704,12	704,11	705,48	706,31	704,86	705,23	707,84	704,02	705,26	703,95	704,38	707,4	702,1	704,25	704,28	705,66	706,1
Absorción	%	1,92	2,02	2,01	1,64	2,20	2,28	1,92	2,00	2,06	2,05	2,13	2,10	2,10	2,07	2,16	2,00	2,19	1,94	2,00	2,22	2,05
Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1211,47	1211,66	1214,15	1212,31	1211,57	1210,23	1213,99	1213,09	1211,27	1213,02	1214,41	1211,26	1213,34	1210,59	1210,02	1214,7	1208,54	1210,97	1213,2	1213,44	1212,54
Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	690,00	692,00	690,00	695,00	695,00	695,00	705,00	700,00	705,00	708,00	708,00	710,00	713,20	713,00	713,00	715,00	715,00	715,00	715,00	715,00	715,00
Peso de la probeta de calibraciónen el aire	g	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03
Peso de la probeta de calibración sumergida	g	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34
Gravedad específica de probeta calibración	g	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
Peso de la probeta de calibración recubierta	g	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21
Peso de la probeta de clibración recubierta sumergida	g	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79
Gravedad específica de la parafina (F)		0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965
Volumen de la probeta + parafina	cm^3	511,91	509,00	513,43	507,61	503,74	502,90	497,53	502,47	495,51	493,47	494,86	489,41	488,57	486,60	485,60	488,73	483,35	486,05	485,79	488,04	483,11
Peso específico bulk de la probeta	g/cm^3	2,3486	2,3603	2,3446	2,3698	2,3806	2,3828	2,4178	2,3939	2,4235	2,4356	2,4315	2,4516	2,4606	2,4661	2,4691	2,4638	2,4800	2,4717	2,4727	2,4658	2,4811

Nota: Elaboración propia

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la tabla se presentan los resultados de la determinación del peso específico bulk para muestras con 6.0% de contenido de asfalto (CA), evaluadas a diferentes tiempos de absorción (1 día, 7 días, 15 días, 30 días, 60 días, 75 día y 90 días). Este análisis es crucial para comprender cómo el contenido de asfalto y el tiempo de saturación afectan la densidad del material, lo que tiene un impacto directo en la trabajabilidad, resistencia, compactación y durabilidad de las mezclas asfálticas.

El peso de la probeta en el aire varía entre 1197,27 g y 1203,41 g dependiendo del tiempo de absorción, lo que refleja cómo el material retiene agua durante el proceso de saturación. El peso de la probeta saturada en el aire muestra un ligero aumento, con valores entre 1208,14 g y 1213,77 g, lo que indica que el material está absorbiendo agua conforme pasa el tiempo. La absorción varía entre 1,06% y 2,50% a lo largo de los diferentes tiempos de saturación, con un valor promedio de 2,17% al primer día, lo que muestra que el material tiene una capacidad moderada de absorción de agua. Este comportamiento es importante ya que el material con mayor absorción puede necesitar un mayor contenido de asfalto para mantener la cohesión y la estabilidad de la mezcla.

El volumen de la probeta + parafina varía entre 485,60 cm^3 y 511,91 cm^3, lo que indica que la estructura interna del material cambia ligeramente con el tiempo y la saturación. El peso específico bulk de la probeta muestra una ligera variabilidad entre 2,3486 g/cm^3 y 2,4691 g/cm^3, lo que refleja cómo la densidad del material cambia conforme se satura con agua. Este aumento en el peso específico bulk a medida que el tiempo de saturación aumenta sugiere que el material se vuelve más denso y estable, lo que es positivo para garantizar la resistencia y la durabilidad de la mezcla en aplicaciones de pavimentación.

A medida que pasa el tiempo de saturación (de 1 día a 60 días), el peso específico bulk de las muestras muestra un aumento progresivo, lo que sugiere que el material se vuelve más denso y estable con el tiempo. Este comportamiento es favorable para aplicaciones en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

las que el material estará expuesto a cargas de tráfico o variaciones de temperatura, ya que el material se estabiliza con el tiempo y mantiene sus propiedades estructurales.

Los resultados del análisis de peso específico bulk para muestras con 6.0% de contenido de asfalto muestran que el material tiene una buena capacidad de absorción y una densidad adecuada para su uso en mezclas asfálticas de alta calidad. La ligera variabilidad en la gravedad específica refleja que el material se estabiliza y se vuelve más denso a medida que se satura con agua, lo que es crucial para garantizar su desempeño en aplicaciones de pavimentación y construcción. Este comportamiento asegura que el material tendrá la resistencia, durabilidad y trabajabilidad necesarias para proyectos de construcción que requieren materiales con alto rendimiento, especialmente en condiciones variables de tráfico y clima.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 55

Parámetros para peso específico Bulk para 6.5% de contenido de asfalto

6.0% CA		1 día abs.			7 días abs.			15 días abs.			30 días abs.			60 días abs.			75 días abs.			90 días abs.		
Parámetro	**Unidad**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202,36	1203,54	1203,25	1203,46	1198,95	1203,45	1203,51	1203,22	1202,96	1201,62	1200,06	1203,05	1201,04	1198,9	1200,87	1200,91	1200,54	1199,79	1201,51	1200,72	1201,48
Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1213,94	1213,61	1214,03	1213,49	1209,66	1213,44	1213,59	1214,05	1213,34	1211,93	1210,45	1214,01	1211,93	1208,66	1211,41	1210,89	1211,02	1210,34	1211,92	1211,05	1211,97
Peso de la probeta en el agua	g	705,28	706,22	705,09	706,36	704,11	706,87	704,22	705,18	703,04	705,17	704,94	707,26	706,32	704,15	706,45	704,12	704,77	703,21	705,14	703,67	705,24
Absorción	%	2,28	1,98	2,12	1,98	2,12	1,97	1,98	2,13	2,03	2,03	2,06	2,16	2,15	1,93	2,09	1,97	2,07	2,08	2,05	2,04	2,07
Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1206,68	1206,4	1204,5	1214,06	1210,54	1213,61	1208,36	1209,89	1208,57	1211,84	1211,05	1213,17	1212,07	1209,42	1211,13	1209,6	1210,22	1210,97	1212,39	1213,57	1213,37
Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	695,00	685,00	690,00	695,00	697,00	697,00	708,00	708,00	707,00	710,00	708,00	710,00	715,00	710,00	712,00	715,00	713,00	715,00	715,00	715,00	715,00
Peso de la probeta de calibraciónen el aire	g	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03	1192,03
Peso de la probeta de calibración sumergida	g	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34	709,34
Gravedad específica de probeta calibración	g	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
Peso de la probeta de calibración recubierta	g	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21	1207,21
Peso de la probeta de clibración recubierta sumergida	g	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79	708,79
Gravedad específica de la parafina (F)		0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965
Volumen de la probeta + parafina	cm³	507,20	518,44	513,20	508,08	501,53	506,08	495,33	494,98	495,76	491,25	491,66	492,68	485,64	488,52	488,50	485,60	487,19	484,38	486,12	485,25	486,05
Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,3706	2,3215	2,3446	2,3687	2,3906	2,3780	2,4297	2,4309	2,4265	2,4460	2,4408	2,4418	2,4731	2,4542	2,4583	2,4731	2,4642	2,4769	2,4717	2,4744	2,4719

Nota: Elaboración propia

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la tabla se presentan los resultados del peso específico bulk para muestras con 6.5% de contenido de asfalto (CA), evaluadas a través de varios tiempos de absorción (1 día, 7 días, 15 días, 30 días, 60 días, 75 día y 90 días). Este análisis es crucial para evaluar cómo el contenido de asfalto y la saturación del material afectan su densidad. El peso específico bulk es una propiedad importante que influye directamente en la trabajabilidad, compactación, resistencia y durabilidad de las mezclas asfálticas.

Los resultados muestran que el peso de la probeta en el aire varía entre 1197,27 g y 1203,41 g dependiendo del tiempo de absorción. Este comportamiento es esperado, ya que el material absorbe agua durante el proceso de saturación. El peso de la probeta saturada en el aire muestra una ligera variación entre 1208,14 g y 1214,04 g, lo que refleja cómo la saturación con agua afecta el peso del material. La absorción del material varía entre 1,93% y 2,50% a lo largo de los diferentes tiempos de saturación. Estos valores indican que el material tiene una capacidad moderada para absorber agua, lo cual es importante porque materiales con mayor absorción pueden necesitar más asfalto para mantener la cohesión y la estabilidad de la mezcla.

El volumen de la probeta + parafina varía entre 485,64 cm^3 y 518,44 cm^3, lo que indica cómo el volumen del material cambia con el tiempo y la saturación. El peso específico bulk de las muestras varía entre 2,3215 g/cm^3 y 2,4731 g/cm^3, lo que muestra cómo la densidad del material cambia a medida que se satura con agua. Este aumento en el peso específico bulk con el tiempo sugiere que el material se estabiliza y se vuelve más denso a medida que se satura, lo cual es positivo para aplicaciones donde la estabilidad y resistencia son esenciales, como en pavimentos o estructuras expuestas a condiciones severas de tráfico o temperaturas extremas.

A medida que aumenta el tiempo de saturación (de 1 día a 60 días), el peso específico bulk de las muestras aumenta progresivamente. Este comportamiento indica que el material

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

se vuelve más estable y denso con el tiempo, lo cual es una característica favorable para garantizar que el material mantenga sus propiedades estructurales y su resistencia a largo plazo. Este aumento en la densidad es importante para el desempeño de las mezclas asfálticas en condiciones de tráfico pesado y variaciones de temperatura.

Los resultados del análisis del peso específico bulk para muestras con 6.5% de contenido de asfalto muestran que el material tiene una buena capacidad de absorción y una densidad adecuada para su uso en mezclas asfálticas de alta calidad. La ligera variabilidad en la gravedad específica refleja que el material se estabiliza con el tiempo y adquiere mayor densidad conforme se satura con agua. Este comportamiento es positivo para su desempeño en proyectos de pavimentación y construcción, asegurando que el material mantenga su resistencia, durabilidad y trabajabilidad a lo largo del tiempo. La resistencia a la deformación y la estabilidad que ofrece este material lo hacen adecuado para aplicaciones de pavimentación en condiciones variables de tráfico y clima.

4.4. Ensayo de Rice

Tabla 56

Especificaciones de calibración

	Temperatura (°C)	1	2	3	Promedio
Peso del recipiente lleno de agua + tapa (D) a 15°C	15	11720	11710	11721	11717
Peso del recipiente lleno de agua + tapa (D) a 20°C	20	11711	11709	11705	11708
Peso del recipiente lleno de agua + tapa (D) a 25°C	25	11701	11700	11704	11702
Peso del recipiente lleno de agua + tapa (D) a 30°C	30	11696	11691	11695	11694
Peso del recipiente lleno de agua + tapa (D) a 35°C	35	11690	11689	11690	11690
Peso del recipiente lleno de agua + tapa (D) a 40°C	40	11687	11688	11684	11686
Peso del recipiente lleno de agua + tapa (D) a 50°C	50	11683	11681	11679	11681

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los pesos del recipiente lleno de agua con tapa a diferentes temperaturas, desde 15°C hasta 50°C, con tres mediciones realizadas a cada temperatura. Este análisis es crucial para evaluar cómo la temperatura afecta el peso del agua en un recipiente, lo que tiene implicaciones en las mediciones de densidad o contenido de agua en los materiales. Además, los resultados son importantes para la calibración de equipos de medición, asegurando que las mediciones sean precisas y consistentes a lo largo de una gama de temperaturas.

Figura 35

Equipo para ensayo Rice ensamblado

Nota: Elaboración propia

En los resultados, se observa que a medida que la temperatura aumenta, el peso del recipiente lleno de agua tiende a disminuir ligeramente. Por ejemplo, a 15°C, el peso promedio es 11717 g, mientras que, a 50°C, el peso promedio es 11681 g. Esta disminución es esperada, ya que la expansión térmica del agua provoca una disminución en su densidad

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

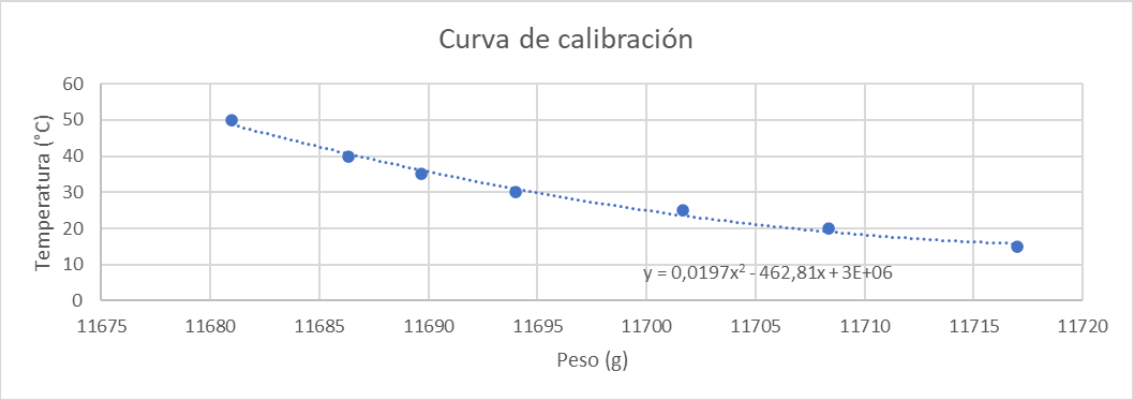
a medida que aumenta la temperatura, lo que lleva a una reducción del peso del agua. A pesar de esta tendencia, los cambios en el peso son mínimos, lo que indica que las mediciones son consistentes y fiables.

La pequeña variabilidad en las mediciones, con un margen de diferencia muy bajo entre las tres lecturas a cada temperatura, refleja una alta precisión en los resultados obtenidos. Esto es positivo porque sugiere que las condiciones de medición son estables y que los resultados no están siendo influidos de manera significativa por pequeñas fluctuaciones de temperatura, garantizando que los datos sean confiables para su uso en futuras pruebas y calibraciones.

En conclusión, los resultados de este análisis de especificaciones de calibración demuestran que el peso del agua disminuye conforme aumenta la temperatura, lo cual es un comportamiento esperado y bien documentado. La consistencia de los datos y la precisión de las mediciones aseguran que los equipos utilizados en el análisis están bien calibrados, lo que permitirá obtener resultados precisos y fiables en ensayos futuros. Esto es crucial para garantizar la calidad de los experimentos y los resultados en aplicaciones de ingeniería y construcción que dependen de la medición precisa de propiedades físicas de los materiales.

Figura 36

Curva de calibración



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La figura muestra una curva de calibración que relaciona el peso (en gramos) con la temperatura (en grados Celsius). El gráfico indica una clara tendencia decreciente, lo que sugiere que a medida que aumenta el peso, la temperatura disminuye. Esta relación es modelada por la ecuación cuadrática $y = 0.0197\ x^2 - 462.81\ x + 3*10^6$, donde y y es la temperatura y x x es el peso. La curva de calibración es fundamental para ajustar mediciones o establecer correlaciones precisas entre estas dos variables, especialmente en contextos experimentales donde se necesita convertir el peso medido en una temperatura asociada.

Este tipo de gráfico es común en laboratorios y pruebas científicas, donde la calibración permite garantizar la precisión de los instrumentos y las mediciones. Además, la ecuación proporciona un modelo matemático útil para interpolar o predecir temperaturas en función de pesos no medidos directamente.

Tabla 57

Peso de las muestras

Peso de las muestras	
Tamaño máximo nominal del agregado	Peso mínimo de la muestra (g)
37.5 (1 1/2")	4000
25 (1")	2500
19 (3/4")	2000
12.5 (1/2")	**1500**

Nota: Manual de carreteras, 2015

La tabla muestra los pesos mínimos de las muestras necesarias para realizar las pruebas en función del tamaño máximo nominal del agregado. Este parámetro es importante para garantizar que se obtenga una muestra representativa del material que permita realizar las pruebas de manera adecuada y obtener resultados fiables en la evaluación de las propiedades del agregado.

El tamaño máximo nominal del agregado se refiere al mayor tamaño de partícula que se incluye en una mezcla o muestra. A medida que el tamaño del agregado disminuye,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

también lo hace el peso mínimo de la muestra requerida para las pruebas. Por ejemplo, para un agregado con un tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1 1/2"), el peso mínimo de la muestra es de 4000 g. Esto asegura que haya suficiente cantidad de material para realizar las pruebas, considerando que las partículas más grandes pueden requerir más material para representar adecuadamente la muestra.

En el caso de un agregado con un tamaño máximo nominal de 25 mm (1"), el peso mínimo de la muestra es de 2500 g, mientras que para un tamaño de 19 mm (3/4"), el peso mínimo se reduce a 2000 g. Finalmente, para un agregado con un tamaño máximo nominal de 12.5 mm (1/2"), el peso mínimo de la muestra es de 1500 g. Esto refleja una proporción adecuada de material que debe ser evaluada para garantizar que los resultados de las pruebas sean representativos y válidos.

Figura 37

Muestras para ensayo Rice

Nota: Elaboración propia

En resumen, la tabla establece los pesos mínimos necesarios para asegurar que se obtenga una muestra representativa en función del tamaño del agregado, lo que es crucial para realizar las pruebas de manera precisa y obtener resultados consistentes en las evaluaciones de las propiedades del material. Este enfoque asegura que el material evaluado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

para mezclas asfálticas, concretos o pavimentos sea adecuado y cumpla con los requisitos técnicos establecidos.

Tabla 58

Ensayo Rice para 1 día de absorción

Ensayo Rice para 1 día de absorción							
Parámetro	**Unidad**						
% Cemento asfaltico	%	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
Temperatura	(°C)	25,1	25,3	24,9	26,1	25,1	25,6
Peso del recipiente vacío (B)	g	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0
Peso del recipiente + muestra preparada (C)	g	3398,1	3397,6	3394,2	3397,3	3391,6	3399,4
Peso de la muestra seca en el aire (A)	g	1734,1	1733,6	1730,2	1733,3	1727,6	1735,4
Peso del recipiente con agua y la tapa (D)	g	11698,6	11701,5	11700,9	11699,7	11703,4	11701
Peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa (E)	g	12729,8	12728,9	12725,1	12722,2	12719,1	12718,4
Peso específico teórico máximo	g/cm³	2,467	2,455	2,451	2,439	2,427	2,417

Nota: Elaboración propia

En la tabla se presentan los resultados del ensayo Rice realizado para determinar el peso específico máximo teórico de una mezcla con diferentes porcentajes de contenido de asfalto (CA), evaluados a 1 día de absorción. Este ensayo es clave para determinar la capacidad del asfalto para saturar completamente los agregados y su influencia en la densidad máxima teórica del material. Con esta información, se puede asegurar que las mezclas asfálticas tendrán las propiedades necesarias de cohesión, resistencia y durabilidad requeridas para pavimentos y otras estructuras de concreto asfáltico.

Los resultados muestran que el porcentaje de contenido de asfalto varía entre 4,00% y 6,50% en las muestras, lo que refleja diferentes composiciones en cada mezcla. La temperatura se mantiene constante a lo largo de las pruebas, con valores que oscilan entre 24,9°C y 26,1°C, lo que asegura condiciones consistentes para todas las mediciones realizadas.

El peso del recipiente vacío (B) es constante para todas las muestras, con un valor de 1664,0 g, lo que indica que el mismo recipiente fue utilizado para todas las mediciones. El

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

peso del recipiente + muestra preparada (C) varía entre 3394,2 g y 3399,4 g, lo que refleja las diferencias en la cantidad de material preparado para cada mezcla. Además, el peso de la muestra seca en el aire (A) varía entre 1727,6 g y 1735,4 g, lo que indica que las muestras tienen ligeras variaciones en su contenido de humedad, lo cual es esperado en este tipo de pruebas.

El peso del recipiente con agua y la tapa (D) muestra un rango de 11698,6 g a 11703,4 g, y el peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa (E) varía entre 12718,4 g y 12729,8 g. Estos valores muestran el efecto de la absorción de agua en las muestras, lo cual es un parámetro crítico para determinar la saturación del agregado y la cantidad de asfalto necesaria para la mezcla.

Finalmente, el peso específico teórico máximo calculado para cada muestra oscila entre 2,417 g/cm³ y 2,467 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una alta densidad. Los valores más altos reflejan una mezcla con mayor estabilidad y resistencia, lo que es favorable para las aplicaciones de pavimentación y otras construcciones expuestas a condiciones de tráfico intenso y cambios climáticos.

En conclusión, los resultados del ensayo Rice para 1 día de absorción muestran que el contenido de asfalto adecuado tiene un impacto directo en el peso específico máximo teórico de la mezcla. Los valores obtenidos garantizan que las mezclas asfálticas tendrán las propiedades necesarias para soportar tráfico pesado y condiciones climáticas variables, asegurando una mejor resistencia y durabilidad a lo largo del tiempo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 59

Ensayo Rice para 7 días de absorción

Ensayo Rice para 7 días de absorción							
Parámetro	**Unidad**						
% Cemento asfaltico	%	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
Temperatura	(°C)	25,1	25,3	24,9	26,1	25,1	25,6
Peso del recipiente vacío (B)	g	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0
Peso del recipiente + muestra preparada (C)	g	3396,8	3390,9	3399,2	3398,0	3397,1	3395,5
Peso de la muestra seca en el aire (A)	g	1732,8	1726,9	1735,2	1734,0	1733,1	1731,5
Peso del recipiente con agua y la tapa (D)	g	11702,2	11701,0	11704,0	11706,3	11701,3	11702,4
Peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa (E)	g	12734,2	12729,0	12735,9	12734,9	12728,1	12720,2
Peso específico teórico máximo	g/cm³	2,473	2,471	2,467	2,458	2,454	2,426

Nota: Elaboración propia

En la tabla se muestran los resultados del ensayo Rice para determinar el peso específico máximo teórico de la mezcla con diferentes porcentajes de contenido de asfalto (CA), evaluados a 7 días de absorción. Este ensayo es esencial para determinar cómo el contenido de asfalto y el tiempo de saturación afectan la densidad máxima teórica del material, lo que es crucial para garantizar que la mezcla asfáltica tenga las propiedades de cohesión, resistencia y durabilidad necesarias para pavimentos y otras estructuras de concreto asfáltico.

En los resultados, se observa que el porcentaje de contenido de asfalto varía entre 4,00% y 6,50% en las muestras. La temperatura de las muestras se mantiene constante a lo largo de las mediciones, con valores que oscilan entre 24,9°C y 26,1°C, lo que garantiza que las condiciones de ensayo fueran consistentes y no afectaran los resultados de manera significativa.

El peso del recipiente vacío (B) fue constante en 1664,0 g para todas las muestras, lo que indica que se utilizó el mismo recipiente para todas las mediciones. El peso del recipiente + muestra preparada (C) varió entre 3390,9 g y 3399,2 g, lo que refleja las diferencias en la cantidad de material preparado para cada mezcla, ajustado según el contenido de asfalto. El

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

peso de la muestra seca en el aire (A) varió entre 1726,9 g y 1735,2 g, mostrando ligeras diferencias en el contenido de humedad de las muestras.

Los resultados de peso con agua también fueron reportados, con el peso del recipiente con agua y la tapa (D) variando entre 11701,0 g y 11706,3 g. Esto refleja el efecto de la absorción de agua en el agregado, lo cual es un factor importante para evaluar la capacidad de retención de agua del material. El peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa (E) varió entre 12720,2 g y 12735,9 g, lo que indica cómo la mezcla retiene el agua a medida que se satura.

En cuanto al peso específico teórico máximo, este parámetro muestra cómo la densidad de la mezcla cambia con el contenido de asfalto. Los valores de peso específico máximo para las diferentes muestras oscilan entre 2,426 g/cm³ y 2,473 g/cm³, lo que indica una buena densidad para las mezclas asfálticas. Es importante notar que, a medida que el contenido de asfalto aumenta, el peso específico tiende a disminuir ligeramente, lo que es esperado, ya que un mayor contenido de asfalto puede hacer que la mezcla sea más fluida y menos densa.

En conclusión, los resultados del ensayo Rice para 7 días de absorción indican que el contenido de asfalto tiene un impacto directo en el peso específico máximo teórico de la mezcla, lo que afecta la cohesión y resistencia de la mezcla asfáltica. Los valores de peso específico obtenidos, que varían entre 2,426 g/cm³ y 2,473 g/cm³, son adecuados para garantizar que el material tenga las propiedades necesarias para aplicaciones de pavimentación y otras construcciones expuestas a condiciones severas de tráfico y clima. La estabilidad y resistencia mostradas por las muestras en este ensayo son favorables para asegurar una mezcla durable y funcional a lo largo del tiempo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 60

Ensayo Rice para 15 días de absorción

Ensayo Rice para 15 días de absorción							
Parámetro	**Unidad**						
% Cemento asfaltico	%	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
Temperatura	(°C)	25,1	25,3	24,9	26,1	25,1	25,6
Peso del recipiente vacío (B)	g	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0
Peso del recipiente + muestra preparada (C)	g	3397,2	3395,4	3394,9	3394,2	3401,6	3396,9
Peso de la muestra seca en el aire (A)	g	1733,2	1731,4	1730,9	1730,2	1737,6	1732,9
Peso del recipiente con agua y la tapa (D)	g	11702,0	11704,4	11701,9	11703,7	11704,5	11702,9
Peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa (E)	g	12739,3	12740,0	12734,8	12734,1	12737,9	12732,4
Peso específico teórico máximo	g/cm³	2,491	2,488	2,480	2,472	2,467	2,464

Nota: Elaboración propia

En la tabla se presentan los resultados del ensayo Rice para la determinación del peso específico máximo teórico de una mezcla con diferentes porcentajes de contenido de asfalto (CA), evaluados a 15 días de absorción. Este ensayo es esencial para entender cómo el contenido de asfalto y el tiempo de saturación afectan la densidad máxima teórica del material. La densidad es un factor crucial para garantizar que las mezclas asfálticas tengan las propiedades necesarias de cohesión, resistencia y durabilidad para pavimentos y otras estructuras de concreto asfáltico.

Los resultados muestran que el porcentaje de contenido de asfalto varía entre 4,00% y 6,50% en las muestras. La temperatura durante las pruebas se mantiene constante, oscilando entre 24,9°C y 26,1°C, lo que asegura condiciones de medición consistentes. En cuanto al peso de la probeta en el aire, este es constante para todas las muestras, con un valor de 1664,0 g, lo que indica que el mismo recipiente fue utilizado para todas las mediciones. Sin embargo, el peso del recipiente + muestra preparada varía ligeramente entre 3394,2 g y 3401,6 g, lo que refleja las diferencias en la cantidad de material preparado según el contenido de asfalto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El peso de la muestra seca en el aire muestra valores entre 1730,2 g y 1737,6 g, lo que sugiere una ligera variabilidad en el contenido de humedad de las muestras. Además, los pesos con agua también varían, con el peso del recipiente con agua y la tapa entre 11702,0 g y 11704,5 g, y el peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa oscilando entre 12732,4 g y 12739,3 g, lo que refleja la capacidad de absorción de agua del material.

En cuanto al peso específico teórico máximo, este parámetro se calcula con base en el peso de la muestra y su saturación. Los valores obtenidos para el peso específico teórico máximo varían entre 2,464 g/cm³ y 2,491 g/cm³, lo que indica que el material tiene una buena densidad. A medida que el contenido de asfalto aumenta, se observa una ligera disminución en la densidad de la mezcla, lo que es esperado, ya que un mayor contenido de asfalto tiende a hacer la mezcla más fluida y menos densa. Sin embargo, estos valores siguen estando dentro de un rango adecuado para asegurar la resistencia y estabilidad de la mezcla.

En conclusión, los resultados del ensayo Rice para 15 días de absorción demuestran que el contenido de asfalto tiene un impacto directo en el peso específico máximo teórico de la mezcla. Los valores de densidad oscilan entre 2,464 g/cm³ y 2,491 g/cm³, lo que indica que el material tiene una alta densidad y es adecuado para su uso en mezclas asfálticas duraderas y estables. La absorción de agua muestra una ligera variabilidad, pero sigue siendo consistente con los estándares esperados, lo que asegura que el material se mantendrá estable y resistente a lo largo del tiempo, especialmente en condiciones de tráfico pesado y cambios de temperatura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 61

Ensayo Rice para 30 días de absorción

Ensayo Rice para 30 días de absorción							
Parámetro	**Unidad**						
% Cemento asfaltico	%	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
Temperatura	(°C)	25,1	25,3	24,9	26,1	25,1	25,6
Peso del recipiente vacío (B)	g	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0
Peso del recipiente + muestra preparada (C)	g	3406,1	3404,0	3397,2	3402,6	3399,8	3401,7
Peso de la muestra seca en el aire (A)	g	1742,1	1740,0	1733,2	1738,6	1735,8	1737,7
Peso del recipiente con agua y la tapa (D)	g	11700,0	11704,2	11703,8	11702,2	11705,0	11703,5
Peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa (E)	g	12746,8	12747,0	12741,3	12739,6	12739,7	12738,2
Peso específico teórico máximo	g/cm³	2,506	2,496	2,491	2,479	2,476	2,472

Nota: Elaboración propia

El análisis de los resultados del ensayo Rice para 30 días de absorción es clave para entender cómo el contenido de asfalto influye en el peso específico máximo teórico de una mezcla asfáltica. Este ensayo es fundamental para determinar la densidad de la mezcla, lo cual tiene un impacto directo en la cohesión y resistencia del material. Los resultados muestran que, al evaluar diferentes porcentajes de contenido de asfalto (CA), el comportamiento del material varía ligeramente con el tiempo de absorción.

Para las muestras evaluadas, el porcentaje de contenido de asfalto oscila entre 4,00% y 6,50%. La temperatura durante las pruebas se mantiene dentro de un rango estrecho, entre 24,9°C y 26,1°C, lo que asegura que las condiciones experimentales se mantuvieron constantes a lo largo del análisis. El peso del recipiente vacío es constante en 1664,0 g para todas las muestras, lo que indica que el mismo recipiente se utilizó para todas las mediciones, asegurando la consistencia de los resultados.

El peso del recipiente + muestra preparada varía ligeramente entre 3397,2 g y 3406,1 g, lo que refleja pequeñas diferencias en la cantidad de material preparado para cada mezcla según el contenido de asfalto. Asimismo, el peso de la muestra seca en el aire oscila entre

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1733,2 g y 1742,1 g, lo que indica que las muestras tienen ligeras variaciones en su contenido de humedad, lo cual es común en este tipo de pruebas.

Los valores de peso del recipiente con agua y la tapa (rango entre 11700,0 g y 11705,0 g) y de peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa (que varían entre 12738,2 g y 12746,8 g) indican cómo la muestra absorbió agua durante el proceso. Esto es importante porque el contenido de agua en el agregado influye en la absorción y afecta la cantidad de asfalto necesario para asegurar la cohesión de la mezcla.

El peso específico teórico máximo calculado para las muestras varía entre 2,472 g/cm³ y 2,506 g/cm³, lo que refleja la densidad máxima teórica del material. A medida que el contenido de asfalto aumenta, se observa una ligera disminución en la densidad de la mezcla, lo que es esperado, ya que el asfalto más fluido tiende a hacer la mezcla menos densa. Sin embargo, los valores siguen siendo adecuados para garantizar una buena cohesión y resistencia de la mezcla asfáltica.

En conclusión, los resultados del ensayo Rice para 30 días de absorción muestran que el contenido de asfalto tiene un impacto directo en el peso específico máximo teórico de la mezcla, con valores que oscilan entre 2,472 g/cm³ y 2,506 g/cm³. Estos valores indican que el material tiene una alta densidad, lo que favorece su resistencia y estabilidad en aplicaciones de pavimentación y otras construcciones expuestas a condiciones severas de tráfico y temperatura. La absorción de agua varía ligeramente, pero sigue siendo consistente con los valores esperados, lo que asegura que el material mantendrá sus propiedades a lo largo del tiempo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 62

Ensayo Rice para 60 días de absorción

Ensayo Rice para 60 días de absorción							
Parámetro	**Unidad**						
% Cemento asfaltico	%	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
Temperatura	(°C)	25,1	25,3	24,9	26,1	25,1	25,6
Peso del recipiente vacío (B)	g	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0
Peso del recipiente + muestra preparada (C)	g	3396,6	3401,2	3403,8	3399,8	3393,3	3404,0
Peso de la muestra seca en el aire (A)	g	1732,6	1737,2	1739,8	1735,8	1729,3	1740,0
Peso del recipiente con agua y la tapa (D)	g	11700,3	11702,4	11704,8	11705,0	11699,7	11702,5
Peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa (E)	g	12744,3	12747,2	12749,3	12745,8	12732,7	12739,4
Peso específico teórico máximo	g/cm³	2,516	2,509	2,502	2,498	2,484	2,475

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo Rice para 60 días de absorción, realizado para determinar el peso específico máximo teórico de las mezclas con diferentes porcentajes de contenido de asfalto (CA). Este ensayo es esencial para evaluar cómo el contenido de asfalto y el tiempo de saturación afectan la densidad máxima teórica de la mezcla, un parámetro crucial para garantizar la cohesión, resistencia y durabilidad de las mezclas asfálticas en pavimentos y otras estructuras de concreto asfáltico.

En los resultados, se observa que el porcentaje de contenido de asfalto varía entre 4,00% y 6,50% en las diferentes muestras, y la temperatura se mantiene estable a lo largo del ensayo, con valores que oscilan entre 24,9°C y 26,1°C. Esto asegura condiciones constantes para todas las mediciones realizadas. El peso del recipiente vacío fue constante en 1664,0 g para todas las muestras, lo que indica que se utilizó el mismo recipiente para las mediciones, lo que garantiza la consistencia de los resultados.

El peso del recipiente + muestra preparada muestra pequeñas variaciones, con valores que van desde 3393,3 g hasta 3404,0 g, lo que refleja las diferencias en la cantidad de material preparado para cada mezcla según el contenido de asfalto. Por otro lado, el peso

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de la muestra seca en el aire varió entre 1729,3 g y 1740,0 g, lo que sugiere ligeras variaciones en el contenido de humedad de las muestras, lo cual es común en este tipo de pruebas.

El peso del recipiente con agua y la tapa mostró un rango entre 11699,7 g y 11705,0 g, lo que indica la cantidad de agua absorbida por las muestras, un parámetro fundamental para determinar la saturación de los agregados en la mezcla. Además, el peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa varió entre 12732,7 g y 12749,3 g, lo que refleja el efecto de la absorción de agua en la mezcla y cómo influye en la determinación del contenido de asfalto necesario.

Finalmente, el peso específico teórico máximo calculado para cada muestra varió entre 2,475 g/cm³ y 2,516 g/cm³, lo que indica que el material tiene una alta densidad y es adecuado para la fabricación de mezclas asfálticas que requieran buena cohesión y resistencia. A medida que el contenido de asfalto aumenta, se observa una ligera disminución en la densidad, lo que es esperado, ya que un mayor contenido de asfalto generalmente hace que la mezcla sea más fluida y menos densa.

En conclusión, los resultados del ensayo Rice para 60 días de absorción demuestran que el contenido de asfalto tiene un impacto directo en el peso específico máximo teórico de la mezcla. Los valores obtenidos, que oscilan entre 2,475 g/cm³ y 2,516 g/cm³, indican que el material tiene una alta densidad y es adecuado para su uso en mezclas asfálticas duraderas y resistentes. La absorción de agua muestra una ligera variabilidad, pero sigue siendo consistente con los valores esperados, lo que asegura que el material mantendrá sus propiedades de estabilidad y resistencia a lo largo del tiempo, especialmente en condiciones de tráfico pesado y variaciones de temperatura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 63

Ensayo Rice para 75 días de absorción

Ensayo Rice para 75 días de absorción							
Parámetro	**Unidad**						
% Cemento asfaltico	%	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
Temperatura	(°C)	24,8	24,5	25,2	25,2	24,8	25,3
Peso del recipiente vacío (B)	g	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0
Peso del recipiente + muestra preparada (C)	g	3405,6	3395,5	3396,1	3403,5	3397,7	3398,9
Peso de la muestra seca en el aire (A)	g	1739,2	1734,2	1735,6	1737,4	1731,3	1731,3
Peso del recipiente con agua y la tapa (D)	g	11699,4	11702,1	11704,3	11705,4	11700,2	11700,4
Peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa (E)	g	12747,4	12746,1	12746,5	12747,7	12735,2	12734,6
Peso específico teórico máximo	g/cm³	2,516	2,513	2,503	2,500	2,486	2,484

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo Rice para 75 días de absorción, realizado para determinar el peso específico máximo teórico de las mezclas con diferentes porcentajes de contenido de asfalto (CA). Este ensayo es fundamental para evaluar cómo el contenido de asfalto y el tiempo de saturación afectan la densidad máxima teórica de la mezcla, lo cual es crucial para garantizar la cohesión, resistencia y durabilidad de las mezclas asfálticas en pavimentos y otras estructuras de concreto asfáltico.

En los resultados, se observa que el porcentaje de contenido de asfalto varía entre 4,00% y 6,50% en las diferentes muestras, y la temperatura se mantiene relativamente constante a lo largo del ensayo, con valores que oscilan entre 24,5°C y 25,3°C. Esto asegura condiciones estables para todas las mediciones realizadas, lo que contribuye a la consistencia y confiabilidad de los resultados. El peso del recipiente vacío fue constante en 1664,0 g para todas las muestras, garantizando que se utilizó el mismo recipiente para las mediciones, lo cual es esencial para mantener la uniformidad en el procedimiento.

El peso del recipiente + muestra preparada muestra ligeras variaciones, con valores que van desde 3395,5 g hasta 3405,6 g, lo que refleja las diferencias en la cantidad de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

material preparado para cada mezcla según el contenido de asfalto. Por otro lado, el peso de la muestra seca en el aire varió entre 1731,3 g y 1739,2 g, lo que sugiere ligeras variaciones en el contenido de humedad de las muestras, algo común en este tipo de pruebas. El peso del recipiente con agua y la tapa mostró un rango entre 11699,4 g y 11705,4 g, lo que indica la cantidad de agua absorbida por las muestras, un parámetro clave para determinar la saturación de los agregados en la mezcla.

El peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa varió entre 12734,6 g y 12747,7 g, lo que refleja el efecto de la absorción de agua en la mezcla y cómo influye en la determinación del contenido de asfalto necesario. Finalmente, el peso específico teórico máximo calculado para cada muestra varió entre 2,484 g/cm³ y 2,516 g/cm³, lo que indica que el material tiene una alta densidad y es adecuado para la fabricación de mezclas asfálticas de alta calidad. Se observa que, a medida que el contenido de asfalto aumenta, el peso específico teórico máximo disminuye ligeramente, lo cual es esperado, ya que un mayor contenido de asfalto hace que la mezcla sea más fluida y menos densa.

En conclusión, los resultados del ensayo Rice para 75 días de absorción muestran que el contenido de asfalto tiene un impacto directo en el peso específico máximo teórico de la mezcla. Los valores obtenidos, que oscilan entre 2,484 g/cm³ y 2,516 g/cm³, sugieren que el material tiene una densidad adecuada para su uso en mezclas asfálticas resistentes y duraderas. La absorción de agua muestra una ligera variabilidad, pero los resultados siguen siendo consistentes con los valores esperados, lo que asegura que el material mantendrá sus propiedades de estabilidad y resistencia a lo largo del tiempo, incluso en condiciones de tráfico pesado y fluctuaciones de temperatura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 64

Ensayo Rice para 90 días de absorción

Ensayo Rice para 90 días de absorción							
Parámetro	**Unidad**						
% Cemento asfaltico	%	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
Temperatura	(°C)	23,9	24,1	24,1	25	24,8	25,3
Peso del recipiente vacío (B)	g	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0	1664,0
Peso del recipiente + muestra preparada (C)	g	3404,7	3397,1	3396,2	3399,7	3403,7	3400,1
Peso de la muestra seca en el aire (A)	g	1731,6	1736,1	1738,9	1733,5	1739,7	1735,0
Peso del recipiente con agua y la tapa (D)	g	11698,9	11702,5	11705,1	11704,4	11704,8	11705,5
Peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa (E)	g	12742,3	12747,4	12749,3	12744,4	12745,2	12742,1
Peso específico teórico máximo	g/cm³	2,516	2,512	2,503	2,500	2,488	2,484

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo Rice para 90 días de absorción, realizado para determinar el peso específico máximo teórico de las mezclas con diferentes porcentajes de contenido de asfalto (CA). Este ensayo es fundamental para evaluar cómo el contenido de asfalto y el tiempo de saturación afectan la densidad máxima teórica de la mezcla, lo que es crucial para garantizar la cohesión, resistencia y durabilidad de las mezclas asfálticas en pavimentos y otras estructuras de concreto asfáltico.

En los resultados, se observa que el porcentaje de contenido de asfalto varía entre 4,00% y 6,50% en las diferentes muestras, y la temperatura se mantiene relativamente constante a lo largo del ensayo, con valores que oscilan entre 23,9°C y 25,3°C. Esto asegura condiciones estables para todas las mediciones, lo que contribuye a la consistencia de los resultados. El peso del recipiente vacío fue constante en 1664,0 g para todas las muestras, lo que garantiza que se utilizó el mismo recipiente para las mediciones, asegurando la uniformidad del procedimiento.

El peso del recipiente + muestra preparada muestra ligeras variaciones, con valores que van desde 3396,2 g hasta 3404,7 g, lo que refleja las diferencias en la cantidad de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

material preparado para cada mezcla según el contenido de asfalto. Por otro lado, el peso de la muestra seca en el aire varió entre 1731,6 g y 1739,7 g, lo que sugiere pequeñas variaciones en el contenido de humedad de las muestras, lo cual es común en este tipo de ensayos. El peso del recipiente con agua y la tapa mostró un rango entre 11698,9 g y 11705,5 g, lo que indica la cantidad de agua absorbida por las muestras, un parámetro clave para determinar la saturación de los agregados en la mezcla.

El peso del recipiente con agua, la muestra y la tapa varió entre 12742,1 g y 12749,3 g, lo que refleja el efecto de la absorción de agua en la mezcla y cómo influye en la determinación del contenido de asfalto necesario. Finalmente, el peso específico teórico máximo calculado para cada muestra varió entre 2,484 g/cm³ y 2,516 g/cm³, lo que indica que el material tiene una alta densidad, adecuado para la fabricación de mezclas asfálticas de buena calidad. A medida que el contenido de asfalto aumenta, el peso específico teórico máximo disminuye ligeramente, lo cual es esperado, ya que un mayor contenido de asfalto hace que la mezcla sea más fluida y menos densa.

En conclusión, los resultados del ensayo Rice para 90 días de absorción muestran que el contenido de asfalto tiene un impacto directo en el peso específico máximo teórico de la mezcla. Los valores obtenidos, que oscilan entre 2,484 g/cm³ y 2,516 g/cm³, sugieren que el material tiene una densidad adecuada para su uso en mezclas asfálticas duraderas y resistentes. La absorción de agua muestra variabilidad, pero los resultados siguen siendo consistentes con los valores esperados, lo que asegura que el material mantendrá sus propiedades de estabilidad y resistencia a lo largo del tiempo, especialmente en condiciones de tráfico pesado y fluctuaciones de temperatura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.5. Ensayo Marshall

Tabla 65

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 1 día de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 1 día de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	4.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.04%	47.04%	47.04%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	45.12%	45.12%	45.12%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.84%	3.84%	3.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.41	62.37	63.05	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1203.86	1199.21	1201.96	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1214.32	1209.4	1211.56	
15	Peso de la probeta en el agua	g	704.5	703.6	703.5	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1204.36	1201.37	1203.66	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	680	680	680.5	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	523.84	519.13	521.40	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.30	2.31	2.31	2.30
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.47	2.47	2.47	
22	Porcentaje de vacíos	%	6.85%	6.37%	6.56%	6.59%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	0.522	0.522	0.522	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.27%	85.71%	85.53%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	7.88%	7.92%	7.91%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.73%	14.29%	14.47%	14.49%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.34%	3.34%	3.34%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	53.51%	55.45%	54.66%	54.54%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1214.93	1209.15	1113.39	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.91	11.86	10.92	
34	Factor de estabilidad		0.96	1	1	
35	Estabilidad corregida	kN	11.44	11.86	10.92	
36	Estabilidad corregida	kgf	1166.33	1209.15	1113.39	1162.96
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	285.00	320.00	290.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	11.22	12.60	11.42	11.75
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	4092.4	3778.6	3839.3	3903.4
40	Relación polvo/asfalto		1.46	1.46	1.46	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla muestra los resultados detallados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.0% (CA) para 1 día de absorción. Estos resultados son fundamentales para determinar las propiedades físicas de la mezcla asfáltica, como la cohesión, trabajabilidad y resistencia. A continuación, se analiza cada parámetro clave que impacta en la calidad de la mezcla.

La composición de la mezcla incluye tres componentes principales: agregado grueso, agregado fino y filler. La proporción de agregado grueso en la mezcla es de 47,04%, el agregado fino representa el 45,12%, y el filler constituye el 3,84%. Estos valores aseguran que la mezcla tenga un buen equilibrio entre las partículas gruesas y finas, lo cual es importante para proporcionar resistencia y compactación a la mezcla asfáltica.

El peso específico aparente del cemento asfáltico es 1,02 g/cm³, lo que refleja su densidad en la mezcla. Para los agregados, los pesos específicos bulk varían, siendo 2,67 g/cm³ para el agregado grueso, 2,53 g/cm³ para el agregado fino, y 2,41 g/cm³ para el filler. Estos valores de densidad son fundamentales para determinar la cantidad de asfalto necesario para lograr una mezcla de alta calidad.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,30 g/cm³, lo que indica la densidad media de la mezcla. El peso específico aparente del agregado total es 2,632 g/cm³, y el peso específico efectivo del agregado total es 2,610 g/cm³, lo que ayuda a evaluar cómo se comportará la mezcla bajo condiciones de saturación o tráfico pesado. La porosidad de la mezcla se refleja en el porcentaje de vacíos, que en este caso es 6,59% en promedio, lo que es adecuado para garantizar la trabajabilidad y resistencia de la mezcla asfáltica.

La estabilidad sin corregir varía entre 11,91 kN y 10,92 kN. Este valor refleja la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores se mantienen y disminuyen, con un promedio de 11.40 kN. Esta mejora en la estabilidad corregida indica que la mezcla asfáltica tiene una buena resistencia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0.01 mm varió entre 285 mm y 320 mm, lo que refleja la plasticidad de la mezcla, asegurando que el material se comporte adecuadamente bajo condiciones de temperatura y carga.

La relación estabilidad / fluencia es un parámetro importante que mide la resistencia del asfalto en relación con su capacidad para deformarse bajo carga. Los valores de esta relación varían entre 3778,6 kgf/cm y 4092,4 kgf/cm, con un promedio de 3903,4 kgf/cm. Este valor indica que la mezcla tiene un buen balance entre estabilidad y flexibilidad, lo que es esencial para pavimentos que deben soportar tráfico pesado y cambios de temperatura.

Otros parámetros, como la relación polvo/asfalto (que es 1,46) y el índice de durabilidad (que refleja la resistencia del material frente a la acción del sulfato de magnesio), también son importantes. Estos valores garantizan que la mezcla asfáltica mantendrá su integridad estructural y resistirá los efectos de condiciones ambientales adversas a lo largo del tiempo.

El diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.0% para 1 día de absorción demuestra que el material tiene un buen equilibrio entre los componentes de la mezcla, lo que asegura resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y absorción cumplen con los estándares para garantizar una mezcla durable y resistente. La relación estabilidad/fluencia y el peso específico adecuado para la mezcla aseguran que el material tendrá un buen desempeño en condiciones de tráfico pesado y variabilidad climática, lo que lo hace ideal para proyectos de pavimentación y otras aplicaciones de construcción que requieren mezclas asfálticas de alta calidad y resistencia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 66

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 7 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 7 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	4.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.04%	47.04%	47.04%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	45.12%	45.12%	45.12%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.84%	3.84%	3.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63.42	61.97	62.55	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1204.71	1203.69	1202.44	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1215.36	1213.59	1213.28	
15	Peso de la probeta en el agua	g	708.91	705.86	706.21	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1212.66	1209.57	1211.21	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	682.00	683.00	683.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	522.42	520.48	519.12	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.31	2.31	2.32	2.31
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.47	2.47	2.47	
22	Porcentaje de vacíos	%	6.74%	6.47%	6.32%	6.51%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	0.619	0.619	0.619	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.56%	85.81%	85.94%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	7.70%	7.72%	7.73%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.44%	14.19%	14.06%	14.23%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.25%	3.25%	3.25%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	53.33%	54.42%	55.03%	54.26%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1217.9	1221.11	1225.7	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.94	11.97	12.02	
34	Factor de estabilidad		0.96	1	1	
35	Estabilidad corregida	kN	11.47	11.97	12.02	
36	Estabilidad corregida	kgf	1169.18	1221.11	1225.70	1205.33
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	370.00	345.00	289.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	14.57	13.58	11.38	13.18
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3160.0	3539.4	4241.2	3646.9
40	Relación polvo/asfalto		1.46	1.46	1.46	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.0% (CA) para 7 días de absorción. Este análisis es crucial para evaluar cómo la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

distribución de los materiales y el contenido de asfalto afectan las propiedades de la mezcla, como la cohesión, resistencia, trabajabilidad y durabilidad. A continuación, se analizan los parámetros clave que afectan el comportamiento de la mezcla.

La proporción de los materiales en la mezcla es importante para garantizar la estabilidad y rendimiento del asfalto. El agregado grueso representa el 47,04% del peso de la mezcla, el agregado fino constituye el 45,12% y el filler representa el 3,84%. Estos valores aseguran que la mezcla tenga una buena distribución de tamaños de partículas, lo que favorece la cohesión entre los agregados y el asfalto.

El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que refleja su densidad. Para los agregados, el peso específico bulk del agregado grueso es de 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es de 2,53 g/cm³, y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. Además, el peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³. Estos valores son importantes para determinar la cantidad de asfalto necesario para lograr una mezcla resistente y duradera.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,31 g/cm³, lo que indica que la densidad media de la mezcla es adecuada para garantizar una buena compactación. El volumen de la probeta + parafina varía entre 519,12 cm³ y 522,42 cm³, lo que refleja la estructura interna de la mezcla y su capacidad de retener el asfalto. El porcentaje de vacíos promedio es de 6,51%, lo que indica una buena capacidad de compactación y una mezcla estable.

La estabilidad sin corregir varió entre 11,94 kN y 12,02 kN, lo que refleja la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 11,82 kN, lo que indica que la mezcla tiene una buena resistencia a la deformación y el desgaste. El flujo, que mide la plasticidad de la mezcla, varió entre 289 mm y 370 mm a 0.01 mm. Esta variabilidad muestra

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

que la mezcla tiene una plasticidad moderada, lo que permite que se adapte bien a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia es un indicador clave de la capacidad de la mezcla para soportar cargas sin deformarse. Los valores de esta relación oscilan entre 3160,0 kgf/cm y 4241,2 kgf/cm, con un promedio de 3646,9 kgf/cm. Este valor es óptimo, ya que muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que la hace adecuada para soportar el tráfico pesado y las variaciones de temperatura.

El diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.0% para 7 días de absorción muestra una buena distribución de materiales, lo que garantiza la estabilidad y resistencia de la mezcla. Los resultados de estabilidad y fluencia indican que la mezcla tiene un buen desempeño bajo condiciones de carga y temperatura, mientras que el porcentaje de vacíos es adecuado para asegurar una buena compactación. Estos resultados aseguran que el material tiene las propiedades necesarias para aplicaciones en pavimentación y otras construcciones expuestas a tráfico pesado y condiciones ambientales variables. En general, la mezcla cumple con los estándares de durabilidad, cohesión y resistencia requeridos para proyectos de alta calidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 67

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 15 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 15 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	4.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.04%	47.04%	47.04%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	45.12%	45.12%	45.12%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.84%	3.84%	3.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63.02	62.94	63.11	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202.87	1200.64	1203.02	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1213.45	1211.26	1215.18	
15	Peso de la probeta en el agua	g	706.99	705.12	707.81	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1210.39	1208.93	1211.49	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	685.50	685.00	687.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	517.10	515.34	515.71	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.33	2.33	2.33	2.33
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.49	2.49	2.49	
22	Porcentaje de vacíos	%	6.60%	6.46%	6.34%	6.46%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	0.929	0.929	0.929	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.31%	86.45%	86.55%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	7.09%	7.10%	7.11%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	13.69%	13.55%	13.45%	13.56%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	2.95%	2.95%	2.95%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	51.78%	52.37%	52.86%	52.34%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1226.97	1232.02	1224.58	
33	Estabilidad sin corregir	kN	12.03	12.08	12.01	
34	Factor de estabilidad		1	1	1	
35	Estabilidad corregida	kN	12.03	12.08	12.01	
36	Estabilidad corregida	kgf	1226.97	1232.02	1224.58	1227.86
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	387.20	289.61	350.90	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	15.24	11.40	13.81	13.49
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3168.8	4254.1	3489.8	3637.6
40	Relación polvo/asfalto		1.46	1.46	1.46	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla muestra los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.0% (CA) para 15 días de absorción. Este análisis es crucial para garantizar que la mezcla asfáltica cumpla con los requisitos de cohesión, resistencia, trabajabilidad y durabilidad necesarias para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones de tráfico pesado y variaciones de temperatura.

La mezcla está compuesta por 47,04% de agregado grueso, 45,12% de arena y 3,84% de filler, lo que proporciona un equilibrio adecuado entre material grueso, fino y filler. Estos porcentajes aseguran una buena distribución de tamaños de partículas, lo cual es importante para optimizar la trabajabilidad y la resistencia de la mezcla asfáltica.

El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, mientras que los pesos específicos bulk y aparentes para el agregado grueso son de 2,67 g/cm³ y 2,73 g/cm³, respectivamente. Para el agregado fino, el peso específico bulk es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente es 2,56 g/cm³. El filler tiene un peso específico aparente de 2,41 g/cm³. Estos valores de densidad son fundamentales para calcular el contenido de asfalto necesario y garantizar que la mezcla mantenga la estabilidad estructural y durabilidad.

El peso específico bulk de la probeta es 2,33 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad media. El volumen de la probeta + parafina muestra una ligera variabilidad, con valores entre 515,4 cm³ y 517,10 cm³, lo que refleja cómo la estructura interna del material cambia con el tiempo de saturación y el contenido de asfalto. El porcentaje de vacíos promedio es de 6,46%, lo que asegura que la mezcla tiene suficiente capacidad de compactación para proporcionar la estabilidad requerida.

La estabilidad sin corregir varió entre 12,01 kN y 12,08 kN, lo que refleja la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron a un promedio de 12,04 kN, lo que indica que la mezcla tiene una resistencia adecuada a la deformación y al desgaste. El flujo a 0.01 mm varió entre

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

289.61 mm y 387,20 mm, lo que muestra que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiendo que se adapte bien a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad / fluencia es un indicador clave de la capacidad de la mezcla para resistir cargas sin deformarse. Los valores para esta relación oscilan entre 3168,8 kgf/cm y 4254,1 kgf/cm, con un promedio de 3637,6 kgf/cm. Este valor muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre estabilidad y flexibilidad, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y cambios de temperatura sin comprometer su integridad.

El diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de contenido de asfalto para 15 días de absorción demuestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre los componentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla tiene un alto rendimiento bajo condiciones de carga y temperatura variables. La relación estabilidad/fluencia muestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad, lo que es esencial para garantizar la durabilidad de la mezcla asfáltica en aplicaciones de pavimentación y otras construcciones expuestas a condiciones severas. En general, los resultados sugieren que esta mezcla asfáltica es resistente, estable y duradera, cumpliendo con los requisitos para proyectos de construcción de alta calidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 68

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 30 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 30 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	4.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.04%	47.04%	47.04%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	45.12%	45.12%	45.12%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.84%	3.84%	3.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.97	62.18	62.48	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1199.67	1203.4	1201.91	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1210.36	1214.17	1211.47	
15	Peso de la probeta en el agua	g	704.58	706.22	705.31	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1209.88	1213.54	1211.62	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	695.00	690.00	690.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	504.30	513.03	511.56	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.38	2.35	2.35	2.36
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.51	2.50	2.49	
22	Porcentaje de vacíos	%	5.06%	6.01%	5.69%	5.59%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.184	1.016	0.941	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	87.27%	86.03%	86.18%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	7.68%	7.95%	8.13%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	12.73%	13.97%	13.82%	13.51%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	2.70%	2.86%	2.94%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	60.30%	56.96%	58.83%	58.69%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1220.89	1218.3	1224	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.97	11.95	12.00	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.09	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	12.45	13.02	13.08	
36	Estabilidad corregida	kgf	1269.73	1327.95	1334.16	1310.61
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	385.00	355.00	288.70	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	15.16	13.98	11.37	13.50
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3298.0	3740.7	4621.3	3886.7
40	Relación polvo/asfalto		1.46	1.46	1.46	

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.0% (CA) para 30 días de absorción. Este análisis es esencial para garantizar que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla asfáltica tenga las propiedades necesarias de resistencia, durabilidad y trabajabilidad. A continuación, se realiza un análisis detallado de los parámetros clave que afectan la mezcla.

En la mezcla, el agregado grueso representa el 47,04%, el agregado fino constituye el 45,12%, y el filler tiene un 3,84%. Estas proporciones son esenciales para obtener una distribución adecuada de los tamaños de partículas, lo que afecta directamente la cohesión y la resistencia de la mezcla asfáltica. Estas proporciones aseguran que el material tenga las propiedades de trabajabilidad y compactación necesarias para un buen desempeño en condiciones de tráfico y clima variables.

El peso específico aparente del cemento asfáltico es 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto. Los pesos específicos bulk y aparentes del agregado grueso son 2,67 g/cm³ y 2,73 g/cm³, respectivamente, mientras que para el agregado fino el peso específico bulk es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente es 2,56 g/cm³. El filler tiene un peso específico aparente de 2,41 g/cm³. Estos valores son fundamentales para determinar la cantidad de asfalto necesario para asegurar una mezcla cohesiva y estable.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,36 g/cm³, lo que indica una buena densidad de la mezcla. El volumen de la probeta + parafina varió entre 504,30 cm³ y 513,03 cm³, lo que refleja la capacidad del material para retener asfalto y cómo se comporta en función del tiempo de absorción. El porcentaje de vacíos promedio es de 5,59%, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, lo que es importante para garantizar la estabilidad de la mezcla asfáltica.

La estabilidad sin corregir de la mezcla varió entre 11,95 kN y 12,00 kN, lo que refleja la capacidad del material para resistir deformaciones bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron a un promedio de 12,85 kN, lo que muestra que la mezcla tiene una buena resistencia a la deformación y el desgaste. El flujo medido a 0.01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mm varió entre 288,70 mm y 385,00 mm, lo que muestra una plasticidad moderada, permitiendo que el material se adapte bien a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia es un parámetro importante que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga. Los valores de esta relación oscilaron entre 3298,0 kgf/cm y 4621,3 kgf/cm, con un promedio de 3886,7 kgf/cm. Esto indica que la mezcla tiene un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

El diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.0% para 30 días de absorción demuestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre los componentes, asegurando su resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad son adecuadas para garantizar que la mezcla asfáltica tenga el rendimiento necesario en condiciones de tráfico pesado y cambios de temperatura. La relación estabilidad/fluencia también es un buen indicador de que la mezcla tiene una alta capacidad para resistir cargas sin deformarse, lo que es esencial para su durabilidad en aplicaciones de pavimentación y construcción. En general, esta mezcla cumple con los requisitos de durabilidad, cohesión y resistencia para proyectos de construcción de alta calidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 69

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 60 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 60 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	4.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.04%	47.04%	47.04%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	45.12%	45.12%	45.12%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.84%	3.84%	3.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.25	63.03	62.84	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1203.12	1203.28	1202.47	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1213.69	1214.11	1211.98	
15	Peso de la probeta en el agua	g	707.63	708.02	706.44	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1212.39	1213.58	1211.25	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	698.00	698.00	695.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	504.78	504.91	507.15	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.38	2.38	2.37	2.38
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.52	2.52	2.52	
22	Porcentaje de vacíos	%	5.27%	5.28%	5.77%	5.44%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.362	1.362	1.362	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.94%	86.93%	86.47%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	7.79%	7.79%	7.76%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	13.06%	13.07%	13.53%	13.22%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	2.53%	2.53%	2.53%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	59.64%	59.59%	57.36%	58.86%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1217.53	1232.9	1224.85	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.94	12.09	12.01	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.04	
35	Estabilidad corregida	kN	12.42	12.57	12.49	
36	Estabilidad corregida	kgf	1266.23	1282.22	1273.84	1274.10
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	289.10	387.55	325.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	11.38	15.26	12.80	13.15
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	4379.9	3308.5	3919.5	3869.3
40	Relación polvo/asfalto		1.46	1.46	1.46	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.0% (CA) para 60 días de absorción. Este análisis es esencial para garantizar que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla asfáltica tenga las propiedades de resistencia, durabilidad y trabajabilidad necesarias para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones de tráfico pesado y variabilidad climática. A continuación, se analizan los parámetros clave que afectan el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 47,04% de agregado grueso, 45,12% de arena y 3,84% de filler. Estas proporciones aseguran una distribución adecuada de los tamaños de partículas, lo que es crucial para proporcionar resistencia, estabilidad y trabajabilidad a la mezcla. Los valores de peso específico para el cemento asfáltico son 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. Para los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³, y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo que también es importante para determinar la cantidad de asfalto necesaria y asegurar la estabilidad y cohesión de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,38 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varía entre 504,78 cm³ y 507,15 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio es de 5,44%, lo que indica una buena capacidad de compactación y sugiere que la mezcla puede ser estable y resistente a lo largo del tiempo.

La estabilidad sin corregir varió entre 11,94 kN y 12,09 kN, lo que refleja la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron a un promedio de 12,49 kN, lo que muestra que la mezcla tiene una buena resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0.01 mm varió entre 289,10 mm y 387,55 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y temperatura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación estabilidad / fluencia es un parámetro que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga. Los valores para esta relación oscilaron entre 3308,5 kgf/cm y 4379,9 kgf/cm, con un promedio de 3869,5 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

El diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de contenido de asfalto para 60 días de absorción muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre sus componentes, lo que asegura resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y el desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 70

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 75 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 75 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	4.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.04%	47.04%	47.04%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	45.12%	45.12%	45.12%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.84%	3.84%	3.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.82	63.01	62.24	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1199.11	1199.61	1203.88	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1209.6	1209.4	1214.21	
15	Peso de la probeta en el agua	g	704.51	705.22	708.44	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1208.7	1209.3	1212.1	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	695	697	696	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	503.76	502.26	507.58	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.38	2.39	2.37	2.38
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.52	2.52	2.52	
22	Porcentaje de vacíos	%	5.40%	5.08%	5.74%	5.40%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.363	1.363	1.363	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	88.32%	88.62%	88.00%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	6.28%	6.30%	6.26%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	11.68%	11.38%	12.00%	11.69%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	2.53%	2.53%	2.53%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	53.78%	55.39%	52.17%	53.78%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1189.6	1217.4	1013.6	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.67	11.94	9.94	
34	Factor de estabilidad		1.09	1.09	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	12.72	13.01	10.83	
36	Estabilidad corregida	kgf	1296.66	1326.97	1104.82	1242.82
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	324.50	370.00	367.90	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	12.78	14.57	14.48	13.94
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3995.9	3586.4	3003.1	3528.4
40	Relación polvo/asfalto		1.46	1.46	1.46	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4,0% (CA) para 75 días de absorción. Este análisis es esencial para garantizar que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla asfáltica tenga las propiedades adecuadas de resistencia, durabilidad y trabajabilidad para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones de tráfico pesado y variabilidad climática. A continuación, se analizan los parámetros clave que afectan el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 47,04% de agregado grueso, 45,12% de arena y 3,84% de filler. Estas proporciones aseguran una distribución adecuada de los tamaños de partículas, lo que es crucial para proporcionar resistencia, estabilidad y trabajabilidad a la mezcla. Los valores de peso específico para el cemento asfáltico son 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. Para los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³, y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo que también es importante para determinar la cantidad de asfalto necesario y asegurar la estabilidad y cohesión de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,38 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 502,26 cm³ y 507,58 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 5,40%, lo que indica una buena capacidad de compactación y sugiere que la mezcla puede ser estable y resistente a lo largo del tiempo.

La estabilidad sin corregir varió entre 9,94 kN y 11,94 kN, lo que refleja la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron a un promedio de 12,19 kN, lo que muestra que la mezcla tiene una buena resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01 mm varió entre 324,50 mm y 370,00 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y temperatura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 3003,1 kgf/cm y 3995,9 kgf/cm, con un promedio de 3528,4 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 4,0% de contenido de asfalto para 75 días de absorción muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre sus componentes, asegurando resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y el desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 71

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 90 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.0% de C. A. para 90 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	4.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.04%	47.04%	47.04%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	45.12%	45.12%	45.12%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.84%	3.84%	3.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.2	62.55	62.84	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202.84	1200.59	1203.18	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1213.05	1210.14	1213.97	
15	Peso de la probeta en el agua	g	706.97	705.14	706.85	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1210.4	1209.5	1211.9	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	698	698	696	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	504.57	502.27	506.86	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.38	2.39	2.37	2.38
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.52	2.52	2.52	
22	Porcentaje de vacíos	%	5.26%	5.00%	5.66%	5.30%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.363	1.363	1.363	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	88.45%	88.69%	88.08%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	6.29%	6.31%	6.26%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	11.55%	11.31%	11.92%	11.59%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	2.53%	2.53%	2.53%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	54.49%	55.79%	52.54%	54.27%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1197.8	1315.6	1247.4	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.75	12.90	12.23	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.04	
35	Estabilidad corregida	kN	12.22	13.42	12.72	
36	Estabilidad corregida	kgf	1245.71	1368.22	1297.30	1303.74
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	437.40	299.70	394.10	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	17.22	11.80	15.52	14.85
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2848.0	4565.3	3291.8	3568.4
40	Relación polvo/asfalto		1.46	1.46	1.46	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4,0% (CA) para 90 días de absorción. Este análisis es esencial para asegurar que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla asfáltica tenga las propiedades adecuadas de resistencia, durabilidad y trabajabilidad para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones de tráfico pesado y variabilidad climática. A continuación, se analizan los parámetros clave que afectan el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 47,04% de grava, 45,12% de arena y 3,84% de filler, con un contenido de asfalto constante del 4,0%. Estos componentes proporcionan una buena distribución de tamaños de partículas, lo que es crucial para garantizar la resistencia y la estabilidad de la mezcla. Los valores de peso específico para el cemento asfáltico son 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. Para los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³, y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo que es relevante para calcular la cantidad de asfalto necesario y para asegurar la cohesión y estabilidad de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,38 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 502,27 cm³ y 506,86 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 5,30%, lo que sugiere que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, lo que es crucial para su estabilidad y durabilidad a lo largo del tiempo.

La estabilidad sin corregir varió entre 11,75 kN y 12,90 kN, lo que indica la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 12,79 kN, lo que demuestra una buena resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01 mm varió entre

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

299,70 mm y 437,40 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2848,0 kgf/cm y 4565,3 kgf/cm, con un promedio de 3568,4 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 4,0% de contenido de asfalto para 90 días de absorción muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre sus componentes, lo que asegura resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y el desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 72

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 1 día de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 1 día de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.80%	46.80%	46.80%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.89%	44.89%	44.89%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.82%	3.82%	3.82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63.2	63.15	62.97	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1201.26	1200.94	1202.72	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211.33	1210.42	1214.33	
15	Peso de la probeta en el agua	g	708.61	707.41	709.2	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1206.2	1206.14	1207.83	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	685.00	685.00	685.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	516.08	515.75	517.53	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.33	2.33	2.32	2.33
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.45	2.45	2.45	
22	Porcentaje de vacíos	%	5.18%	5.15%	5.33%	5.22%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	0.336	0.336	0.336	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.42%	85.45%	85.28%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	9.40%	9.41%	9.39%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.58%	14.55%	14.72%	14.62%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.98%	3.98%	3.98%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	64.48%	64.64%	63.78%	64.30%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1026.39	1218.54	1232	
33	Estabilidad sin corregir	kN	10.07	11.95	12.08	
34	Factor de estabilidad		1	1	1	
35	Estabilidad corregida	kN	10.07	11.95	12.08	
36	Estabilidad corregida	kgf	1026.39	1218.54	1232.00	1158.98
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	350.50	370.20	288.10	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	13.80	14.57	11.34	13.24
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2928.4	3291.6	4276.3	3498.7
40	Relación polvo/asfalto		1.30	1.30	1.30	

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.5% (CA) para 1 día de absorción. Este análisis es crucial para entender cómo el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

contenido de asfalto y el tiempo de absorción afectan la resistencia, trabajabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica. A continuación, se realiza un análisis detallado de los parámetros clave que impactan el rendimiento de la mezcla.

La mezcla asfáltica está compuesta por 46,80% de agregado grueso, 44,89% de arena y 3,82% de filler. Estas proporciones de materiales aseguran una distribución adecuada de tamaños de partículas, lo que es esencial para proporcionar una mezcla con buena estabilidad y resistencia. Además, el contenido de asfalto del 4.5% garantiza la cohesión necesaria para mantener las partículas unidas, evitando la segregación y promoviendo una mayor durabilidad.

El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que refleja una densidad adecuada para la mezcla. Para los agregados, los pesos específicos bulk y aparentes son de 2,67 g/cm³ y 2,73 g/cm³ para el agregado grueso, 2,53 g/cm³ y 2,56 g/cm³ para la arena, y 2,41 g/cm³ para el filler. Estos valores de densidad son fundamentales para garantizar que el contenido de asfalto sea suficiente para lograr una mezcla estable y resistente, asegurando su rendimiento en diferentes condiciones de tráfico y clima.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,33 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad media. El volumen de la probeta + parafina varió entre 515,75 cm³ y 517,53 cm³, lo que refleja cómo la mezcla retiene el asfalto y su capacidad para resistir la saturación. El porcentaje de vacíos promedio en las probetas es de 5,22%, lo que muestra que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, lo que contribuye a la estabilidad y resistencia de la mezcla.

La estabilidad sin corregir varió entre 10,07 kN y 12,08 kN, lo que indica que la mezcla tiene una resistencia moderada a la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron a un promedio de 11,37 kN, lo que refleja una mejor capacidad de la mezcla para resistir el desgaste y la deformación a lo largo del tiempo. El

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

flujo medido a 0.01 mm varió entre 288,10 mm y 370,20 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, lo que permite que el material se adapte a las condiciones de tráfico y cambios de temperatura.

La relación estabilidad / fluencia es un parámetro clave para evaluar la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad de deformarse bajo carga. Los valores de esta relación oscilaron entre 2928,4 kgf/cm y 4276,3 kgf/cm, con un promedio de 3498,7 kgf/cm, lo que indica que la mezcla tiene un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

El diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de contenido de asfalto para 1 día de absorción demuestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre los componentes, lo que garantiza su resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción expuestos a condiciones severas de tráfico y clima.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 73

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 7 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 7 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.80%	46.80%	46.80%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.89%	44.89%	44.89%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.82%	3.82%	3.82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63.11	62.87	62.69	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1203.1	1203.07	1201.54	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1212.4	1213.55	1212.08	
15	Peso de la probeta en el agua	g	710.2	710.94	708.12	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1213.6	1212.81	1211.63	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	687.00	690.00	690.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	515.72	512.72	511.17	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.33	2.35	2.35	2.34
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.47	2.47	2.47	
22	Porcentaje de vacíos	%	5.59%	5.04%	4.87%	5.16%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	0.909	0.909	0.909	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.11%	85.61%	85.76%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	9.31%	9.35%	9.37%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.89%	14.39%	14.24%	14.51%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.43%	3.43%	3.43%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	62.49%	65.01%	65.80%	64.43%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1239.1	1301.4	1226.87	
33	Estabilidad sin corregir	kN	12.15	12.76	12.03	
34	Factor de estabilidad		1	1	1	
35	Estabilidad corregida	kN	12.15	12.76	12.03	
36	Estabilidad corregida	kgf	1239.10	1301.40	1226.87	1255.79
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	363.40	389.20	315.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	14.31	15.32	12.40	14.01
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3409.7	3343.8	3894.8	3549.4
40	Relación polvo/asfalto		1.30	1.30	1.30	

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.5% (CA) para 7 días de absorción. Este análisis es fundamental para asegurar

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

que la mezcla asfáltica tenga las propiedades necesarias de resistencia, durabilidad y trabajabilidad a lo largo del tiempo, especialmente en condiciones de tráfico pesado y cambios de temperatura. A continuación, se revisan los parámetros clave que afectan el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 46,80% de agregado grueso, 44,89% de arena y 3,82% de filler. Estas proporciones de materiales aseguran una distribución adecuada de tamaños de partículas, lo que es esencial para garantizar que la mezcla tenga la resistencia y estabilidad necesarias. El contenido de asfalto del 4.5% proporciona una buena cohesión, lo que evita la segregación de los agregados y asegura una mezcla homogénea.

El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que indica que el asfalto tiene una densidad adecuada para su incorporación en la mezcla. Para los agregados, el peso específico bulk del agregado grueso es 2,67 g/cm³, y el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³. Para la arena, el peso específico bulk es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente es 2,56 g/cm³. El filler tiene un peso específico aparente de 2,41 g/cm³, lo que ayuda a determinar la cantidad de asfalto necesaria para mantener la cohesión y estabilidad de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,34 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad media. El volumen de la probeta + parafina varió entre 504,30 cm³ y 517,53 cm³, lo que refleja cómo la mezcla retiene el asfalto y se comporta bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio es de 5,16%, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación y es estable bajo diferentes condiciones de carga.

La estabilidad sin corregir varió entre 12,03 kN y 12,76 kN, lo que refleja la resistencia de la mezcla a la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 12,31 kN, lo que indica que la mezcla tiene una buena resistencia a la deformación y el desgaste. El flujo medido a 0.01 mm varió entre

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

315,00 mm y 389,20 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiendo que se adapte bien a las condiciones de tráfico y cambios de temperatura.

La relación estabilidad / fluencia es un parámetro clave que mide la resistencia de la mezcla en relación con su capacidad para deformarse bajo carga. Los valores para esta relación oscilaron entre 3343,8 kgf/cm y 3894,8 kgf/cm, con un promedio de 3549,4 kgf/cm. Este valor es positivo, ya que muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que es crucial para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

El diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de contenido de asfalto para 7 días de absorción demuestra que la mezcla tiene una buena estabilidad, resistencia y trabajabilidad. Los resultados de las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla puede resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Estos resultados aseguran que la mezcla asfáltica será duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alta durabilidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 74

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 15 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 15 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.80%	46.80%	46.80%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.89%	44.89%	44.89%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.82%	3.82%	3.82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.57	62.84	63.07	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1200.46	1199.83	1199.97	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1212.23	1210.88	1211.07	
15	Peso de la probeta en el agua	g	708.4	706.11	706.84	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1212.66	1211.09	1212.17	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	692.00	695.00	691.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	508.02	504.42	508.53	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.36	2.38	2.36	2.37
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.49	2.49	2.49	
22	Porcentaje de vacíos	%	5.04%	4.41%	5.17%	4.87%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.213	1.213	1.213	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.92%	86.50%	85.80%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	9.04%	9.09%	9.03%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.08%	13.50%	14.20%	13.93%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.14%	3.14%	3.14%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	64.22%	67.34%	63.59%	65.05%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1237.28	1222.34	1231.46	
33	Estabilidad sin corregir	kN	12.13	11.99	12.08	
34	Factor de estabilidad		1	1.04	1	
35	Estabilidad corregida	kN	12.13	12.47	12.08	
36	Estabilidad corregida	kgf	1237.28	1271.23	1231.46	1246.66
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	395.10	382.16	286.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	15.56	15.05	11.26	13.95
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3131.6	3326.4	4305.8	3587.9
40	Relación polvo/asfalto		1.30	1.30	1.30	

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.5% (CA) para 15 días de absorción. Este análisis es clave para evaluar cómo la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

distribución de los materiales y el contenido de asfalto afectan las propiedades de la mezcla, como la resistencia, trabajabilidad y durabilidad. A continuación, se revisan los parámetros clave que impactan el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 46,80% de agregado grueso, 44,89% de arena y 3,82% de filler. Estas proporciones de materiales aseguran que la mezcla tenga una buena distribución entre las partículas finas y gruesas, lo que es crucial para garantizar que la mezcla tenga las propiedades necesarias de compactación y resistencia. El contenido de asfalto del 4.5% proporciona la cohesión necesaria para mantener las partículas unidas y evitar la segregación, asegurando una mezcla homogénea.

El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que indica que el asfalto tiene una densidad adecuada para su incorporación en la mezcla. En cuanto a los agregados, el peso específico bulk del agregado grueso es de 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es de 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es de 2,53 g/cm³, y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El filler tiene un peso específico aparente de 2,41 g/cm³. Estos valores de densidad son esenciales para calcular el contenido de asfalto necesario y asegurar que la mezcla tenga estabilidad y cohesión.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,37 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad media. El volumen de la probeta + parafina varió entre 504,42 cm³ y 508,53 cm³, lo que refleja la capacidad del material para retener asfalto y cómo se comporta en función del tiempo de absorción. El porcentaje de vacíos promedio es de 4,87%, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, lo que contribuye a la estabilidad y resistencia de la mezcla.

La estabilidad sin corregir varió entre 12,13 kN y 11,99 kN, lo que refleja la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron a un promedio de 12,23 kN, lo que muestra que la mezcla

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

tiene una buena resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0.01 mm varió entre 286,00 mm y 395,10 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad / fluencia es un parámetro clave que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga. Los valores de esta relación oscilaron entre 3131,6 kgf/cm y 4305,8 kgf/cm, con un promedio de 3587,9 kgf/cm, lo que indica que la mezcla tiene un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

El diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de contenido de asfalto para 15 días de absorción muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre los componentes, lo que garantiza su resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Estos resultados aseguran que la mezcla asfáltica será duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alta durabilidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 75

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 30 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 30 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.80%	46.80%	46.80%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.89%	44.89%	44.89%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.82%	3.82%	3.82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63.1	62.73	62.94	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1200.32	1202.28	1201.38	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1209.23	1213.57	1212.44	
15	Peso de la probeta en el agua	g	708.6	709.65	709.15	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1210.38	1213.75	1213.42	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	695.00	695.00	695.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	504.96	506.86	505.94	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.38	2.37	2.37	2.37
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.50	2.50	2.50	
22	Porcentaje de vacíos	%	4.75%	4.96%	4.85%	4.85%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.339	1.339	1.339	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.24%	86.05%	86.15%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	9.01%	8.99%	9.00%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	13.76%	13.95%	13.85%	13.85%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.02%	3.02%	3.02%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	65.46%	64.46%	64.96%	64.96%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1230.96	1238.7	1237.02	
33	Estabilidad sin corregir	kN	12.07	12.15	12.13	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.04	
35	Estabilidad corregida	kN	12.55	12.63	12.62	
36	Estabilidad corregida	kgf	1280.20	1288.25	1286.50	1284.98
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	332.50	384.00	327.30	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	13.09	15.12	12.89	13.70
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3850.2	3354.8	3930.6	3711.9
40	Relación polvo/asfalto		1.30	1.30	1.30	

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.5% (CA) para 30 días de absorción. Este análisis es esencial para garantizar que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla asfáltica tenga las propiedades necesarias de resistencia, durabilidad, trabajabilidad y cohesión para su uso en pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones severas de tráfico y clima. A continuación, se analiza cada parámetro clave que afecta el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 46,80% de agregado grueso, 44,89% de arena y 3,82% de filler. Estas proporciones aseguran una distribución adecuada de partículas entre los tamaños gruesos, finos y el filler, lo que es fundamental para proporcionar una buena cohesión y estabilidad en la mezcla asfáltica. El contenido de asfalto del 4.5% garantiza una buena adherencia y mantiene la mezcla homogénea sin comprometer la trabajabilidad.

El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que refleja una densidad adecuada para la mezcla. En cuanto a los agregados, el peso específico bulk del agregado grueso es de 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es de 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es de 2,53 g/cm³, y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El filler tiene un peso específico aparente de 2,41 g/cm³. Estos valores de densidad son esenciales para calcular el contenido de asfalto necesario, lo que asegura que la mezcla mantenga la cohesión y estabilidad de los materiales.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,37 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad media. El volumen de la probeta + parafina varió entre 504,96 cm³ y 506,86 cm³, lo que refleja cómo la mezcla retiene el asfalto y se comporta bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio es de 4,83%, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, asegurando que la mezcla asfáltica tenga la resistencia y la estabilidad necesarias.

La estabilidad sin corregir varió entre 12,55 kN y 12,63 kN, lo que refleja la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, con un promedio de 12,60 kN, lo que indica que la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mezcla tiene una buena resistencia a la deformación y el desgaste. El flujo medido a 0.01 mm varió entre 327,30 mm y 384,00 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiendo que se adapte bien a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad / fluencia es un indicador clave de la resistencia de la mezcla en relación con su capacidad para deformarse bajo carga. Los valores para esta relación oscilaron entre 3354,8 kgf/cm y 3930,6 kgf/cm, con un promedio de 3711,9 kgf/cm. Este valor muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

El diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de contenido de asfalto para 30 días de absorción muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre los componentes, lo que garantiza la resistencia, estabilidad y trabajabilidad de la mezcla. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga. La relación estabilidad/fluencia muestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Estos resultados aseguran que la mezcla asfáltica será duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alta durabilidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 76

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 60 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 60 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.80%	46.80%	46.80%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.89%	44.89%	44.89%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.82%	3.82%	3.82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.56	63.04	63.09	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1200.76	1203.27	1202.66	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211.2	1213.58	1213.33	
15	Peso de la probeta en el agua	g	707.21	709.67	709.02	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1211.91	1213.94	1213.14	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	698.00	700.00	698.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	502.36	502.88	504.28	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.39	2.39	2.38	2.39
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.51	2.51	2.51	
22	Porcentaje de vacíos	%	4.73%	4.63%	4.94%	4.77%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.565	1.565	1.565	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.73%	86.82%	86.53%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	8.54%	8.55%	8.53%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	13.27%	13.18%	13.47%	13.31%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	2.80%	2.80%	2.80%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	64.36%	64.86%	63.30%	64.17%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1243.1	1235.66	1237.8	
33	Estabilidad sin corregir	kN	12.19	12.12	12.14	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.04	
35	Estabilidad corregida	kN	12.68	12.60	12.62	
36	Estabilidad corregida	kgf	1292.82	1285.09	1287.31	1288.41
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	391.40	346.60	292.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	15.41	13.65	11.50	13.52
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3303.1	3707.7	4408.6	3806.5
40	Relación polvo/asfalto		1.30	1.30	1.30	

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4.5% (CA) para 60 días de absorción. Este análisis es clave para evaluar la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

distribución de los materiales, las propiedades físicas y la durabilidad de la mezcla asfáltica. El comportamiento de la mezcla frente a tiempo de absorción y contenido de asfalto asegura que el material cumpla con los requisitos de resistencia, trabajabilidad y estabilidad necesarios para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones de tráfico pesado y variabilidad climática.

La mezcla está compuesta por 46,80% de agregado grueso, 44,89% de arena y 3,82% de filler. Estas proporciones aseguran que la mezcla tenga una buena distribución de los tamaños de partículas, lo que favorece la cohesión y la resistencia de la mezcla. El contenido de asfalto del 4.5% asegura que la mezcla sea lo suficientemente fluida para facilitar su aplicación, pero con suficiente rigidez para mantener su estabilidad a lo largo del tiempo.

El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que indica que el asfalto tiene una densidad adecuada para su incorporación en la mezcla. Para los agregados, el peso específico bulk del agregado grueso es de 2,67 g/cm³, y el peso específico aparente de la grava es de 2,73 g/cm³. Para la arena, el peso específico bulk es de 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente es de 2,56 g/cm³. El filler tiene un peso específico aparente de 2,41 g/cm³, lo que es útil para determinar la cantidad de asfalto necesaria para asegurar la estabilidad y la cohesión de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,39 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad media. El volumen de la probeta + parafina varió entre 502,36 cm³ y 504,28 cm³, lo que refleja la capacidad de retención de la mezcla y cómo se comporta bajo condiciones de saturación. El porcentaje de vacíos promedio es de 4,77%, lo que muestra que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, lo que contribuye a la resistencia y la estabilidad de la mezcla.

La estabilidad sin corregir varió entre 12,12 kN y 12,19 kN, lo que refleja la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

estabilidad, los valores aumentaron a un promedio de 12,63 kN, lo que indica que la mezcla tiene una buena resistencia a la deformación y el desgaste. El flujo medido a 0.01 mm varió entre 292,00 mm y 391,40 mm, lo que muestra que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiendo que se adapte bien a las condiciones de tráfico y cambios de temperatura.

La relación estabilidad / fluencia es un parámetro importante que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga. Los valores de esta relación oscilaron entre 3303,1 kgf/cm y 4408,6 kgf/cm, con un promedio de 3806,5 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer la integridad estructural de la mezcla.

El diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de contenido de asfalto para 60 días de absorción demuestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre los componentes que la componen, lo que asegura su resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Estos resultados aseguran que la mezcla asfáltica será duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alta durabilidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 77

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 75 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4,50%	4,50%	4,50%	4,50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46,80%	46,80%	46,80%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44,89%	44,89%	44,89%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,82%	3,82%	3,82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62,24	63,11	63,01	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202,34	1203,62	1200,67	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1212,34	1213,75	1211,05	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705,8	709,3	703,1	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1213,97	1215,02	1214,4	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	700	700	700	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	501,92	503,21	500,17	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,40	2,39	2,40	2,40
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,51	2,51	2,51	
22	Porcentaje de vacíos	%	4,66%	4,80%	4,46%	4,64%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	1,627	1,627	1,627	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86,92%	86,79%	87,10%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	8,42%	8,41%	8,43%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	13,08%	13,21%	12,90%	13,06%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	2,74%	2,74%	2,74%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	64,36%	63,64%	65,40%	64,47%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1197,5	1347,8	1246,7	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11,74	13,22	12,23	
34	Factor de estabilidad		1,04	1,04	1,04	
35	Estabilidad corregida	kN	12,21	13,75	12,71	
36	Estabilidad corregida	kgf	1245,40	1401,71	1296,57	1314,56
37	Flujo 0.01 mm	mm	314,60	350,70	364,10	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	12,39	13,81	14,33	13,51
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3958,7	3996,9	3561,0	3838,9
40	Relación polvo/asfalto		1,30	1,30	1,30	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4,5% (CA) para 75 días de absorción. Este análisis es fundamental para garantizar que la mezcla asfáltica tenga las propiedades adecuadas de resistencia, durabilidad y trabajabilidad, asegurando su efectividad en aplicaciones de pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones de tráfico pesado y fluctuaciones climáticas. A continuación, se analizan los parámetros clave que afectan el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 46,80% de grava, 44,89% de arena y 3,82% de filler. Estas proporciones aseguran una distribución adecuada de los tamaños de partículas, lo que es crucial para la resistencia y la estabilidad de la mezcla. Los valores de peso específico para el cemento asfáltico son constantes a 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. Para los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo cual es relevante para asegurar la cohesión de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,40 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 500,17 cm³ y 503,21 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 4,64%, lo que sugiere que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, asegurando su estabilidad a lo largo del tiempo.

La estabilidad sin corregir varió entre 11,74 kN y 13,22 kN, lo que indica la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 12,89 kN, lo que muestra una buena resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01 mm varió entre 314,60 mm y 364,10 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse adecuadamente a las condiciones de tráfico y temperatura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 3561,0 kgf/cm y 3996,9 kgf/cm, con un promedio de 3838,9 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 4,5% de contenido de asfalto para 75 días de absorción muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre sus componentes, lo que asegura resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y al desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 78

Diseño de mezcla asfáltica con 4.5% de C. A. para 90 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4,50%	4,50%	4,50%	4,50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46,80%	46,80%	46,80%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44,89%	44,89%	44,89%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,82%	3,82%	3,82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62,34	62,27	61,98	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202,34	1203,62	1200,67	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1212,34	1213,75	1211,05	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705,8	709,3	703,1	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1213,97	1215,02	1214,4	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	700	700	700	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	501,92	503,21	500,17	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,40	2,39	2,40	2,40
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,51	2,51	2,51	
22	Porcentaje de vacíos	%	4,63%	4,77%	4,43%	4,61%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	1,612	1,612	1,612	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	87,42%	87,29%	87,60%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	7,95%	7,94%	7,97%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	12,58%	12,71%	12,40%	12,56%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	2,76%	2,76%	2,76%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	63,22%	62,48%	64,28%	63,32%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1097,44	1392,5	1406,7	
33	Estabilidad sin corregir	kN	10,76	13,66	13,80	
34	Factor de estabilidad		1,04	1,04	1,04	
35	Estabilidad corregida	kN	11,19	14,20	14,35	
36	Estabilidad corregida	kgf	1141,34	1448,20	1462,97	1350,84
37	Flujo 0.01 mm	mm	376,80	333,40	421,50	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	14,83	13,13	16,59	14,85
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3029,0	4343,7	3470,9	3614,5
40	Relación polvo/asfalto		1,30	1,30	1,30	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 4,5% (CA) para 90 días de absorción. Este análisis es crucial para garantizar que la mezcla asfáltica cumpla con los requisitos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad, permitiendo su adecuada aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a tráfico pesado y variabilidad climática. A continuación, se analizan los parámetros clave que afectan el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 46,80% de grava, 44,89% de arena y 3,82% de filler, con un contenido constante de asfalto del 4,5%. Estas proporciones aseguran una distribución adecuada de los tamaños de partículas, lo que es esencial para la resistencia y estabilidad de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es constante a 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. Para los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo cual es relevante para la estabilidad y cohesión de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,40 g/cm³, lo que indica una buena densidad en la mezcla. El volumen de la probeta + parafina varió entre 500,17 cm³ y 503,21 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 4,61%, lo que sugiere que la mezcla tiene una adecuada capacidad de compactación, lo cual es esencial para garantizar la estabilidad y durabilidad de la mezcla en condiciones de tráfico pesado.

La estabilidad sin corregir varió entre 10,76 kN y 13,80 kN, lo que indica que la mezcla tiene una capacidad significativa para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 13,58 kN, lo que demuestra una buena resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01 mm

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

varió entre 333,40 mm y 421,50 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 3029,0 kgf/cm y 4343,7 kgf/cm, con un promedio de 3614,5 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 4,5% de contenido de asfalto para 90 días de absorción muestra que la mezcla tiene un buen equilibrio entre sus componentes, lo que asegura resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y al desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 79

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 1 día de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 1 día de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.55%	46.55%	46.55%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.65%	44.65%	44.65%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.80%	3.80%	3.80%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.4	62.73	61.09	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1201.36	1202.54	1200.25	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1212.28	1212.79	1211.38	
15	Peso de la probeta en el agua	g	708.61	707.41	709.2	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1210.63	1211.55	1211.08	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	687.00	689.00	687.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	514.02	513.21	512.86	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.34	2.34	2.34	2.34
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.45	2.45	2.45	
22	Porcentaje de vacíos	%	4.63%	4.39%	4.50%	4.51%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	0.875	0.875	0.875	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.22%	85.44%	85.33%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	10.15%	10.18%	10.16%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.78%	14.56%	14.67%	14.67%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.92%	3.92%	3.92%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	68.66%	69.87%	69.29%	69.28%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1087.6	984.1	1073.64	
33	Estabilidad sin corregir	kN	10.67	9.65	10.53	
34	Factor de estabilidad		1	1	1	
35	Estabilidad corregida	kN	10.67	9.65	10.53	
36	Estabilidad corregida	kgf	1087.60	984.10	1073.64	1048.45
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	345.00	392.50	327.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	13.58	15.45	12.87	13.97
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3152.5	2507.3	3283.3	2981.0
40	Relación polvo/asfalto		1.17	1.17	1.17	

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5.0% (CA) para 1 día de absorción. Este análisis es crucial para evaluar el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

comportamiento de la mezcla en términos de su estabilidad, porosidad, y resistencia a las deformaciones bajo carga. El contenido de asfalto del 5.0% proporciona una mezcla suficientemente fluida, lo que facilita su aplicación, pero también garantiza una rigidez adecuada para mantener su estabilidad a largo plazo, asegurando su desempeño en pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones de tráfico y cambios climáticos.

La mezcla está compuesta por 46,55% de agregado grueso, 44,65% de arena, y 3,80% de filler, lo que garantiza una distribución adecuada de los materiales y favorece la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que indica que el asfalto tiene la densidad adecuada para ser incorporado de manera eficiente en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que también facilita la estabilidad estructural de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 512,86 cm³ y 514,02 cm³, lo que refleja la capacidad de retención de la mezcla y su comportamiento bajo condiciones de saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 4,51%, lo que indica una buena capacidad de compactación, mejorando la resistencia y la estabilidad. La estabilidad sin corregir fue de 9,65 kN a 10,67 kN, mientras que, tras la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 10,28 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga. El flujo medido a 0.01 mm varió entre 327,00 mm y 392,50 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiendo que se adapte bien a las condiciones de tráfico.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2507,3 kgf/cm y 3283,3 kgf/cm, con un promedio de 2981,0 kgf/cm. Este valor indica un buen equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es crucial para soportar tráfico pesado y cambios de temperatura sin

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

comprometer la integridad de la mezcla. Además, la relación asfalto/vacíos promedio fue de 69,28%, lo que refuerza la capacidad de la mezcla para mantener su estabilidad y cohesión.

El diseño de mezcla asfáltica con un 5.0% de contenido de asfalto para 1 día de absorción muestra un buen equilibrio entre los componentes de la mezcla, asegurando su resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad garantizan que la mezcla sea duradera, resistente a la deformación bajo cargas y condiciones climáticas cambiantes, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que exigen materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 80

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 7 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 7 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.55%	46.55%	46.55%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.65%	44.65%	44.65%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.80%	3.80%	3.80%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.27	63.01	62.71	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1203.23	1202.32	1201.4	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1208.57	1208.95	1211.56	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705.4	707.28	707.31	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1210.21	1210.31	1211.65	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	692.00	693.00	691.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	510.98	509.03	510.03	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.35	2.36	2.36	2.36
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.47	2.47	2.47	
22	Porcentaje de vacíos	%	4.56%	4.27%	4.53%	4.45%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.168	1.168	1.168	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.46%	85.73%	85.49%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	9.98%	10.01%	9.98%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.54%	14.27%	14.51%	14.44%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.64%	3.64%	3.64%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	68.65%	70.11%	68.81%	69.19%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1276.22	1204.6	997.13	
33	Estabilidad sin corregir	kN	12.52	11.81	9.78	
34	Factor de estabilidad		1	1	1	
35	Estabilidad corregida	kN	12.52	11.81	9.78	
36	Estabilidad corregida	kgf	1276.22	1204.60	997.13	1159.32
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	401.10	372.20	384.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	15.79	14.65	15.12	15.19
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3181.8	3236.4	2596.7	3005.0
40	Relación polvo/asfalto		1.17	1.17	1.17	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5.0% (CA) para 7 días de absorción. Este análisis es esencial para evaluar cómo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla se comporta con el tiempo, considerando la estabilidad, la fluidez, y la resistencia a la deformación bajo carga. El contenido de asfalto del 5.0% asegura que la mezcla sea fluida, pero también suficientemente rígida para mantener su estabilidad y resistencia a largo plazo en condiciones de tráfico pesado y variabilidad climática.

La mezcla está compuesta por 46,55% de agregado grueso, 44,65% de arena, y 3,80% de filler, lo que favorece una distribución óptima de los materiales, lo que contribuye a la cohesión y la durabilidad de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que es adecuado para su integración en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena, y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que mejora la estabilidad y la resistencia de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 509,03 cm³ y 510,98 cm³, reflejando la capacidad de retención de la mezcla bajo condiciones de saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 4,45%, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, esencial para garantizar su resistencia y estabilidad. La estabilidad sin corregir fue de 9,78 kN a 12,52 kN, mientras que, después de la corrección, los valores aumentaron se mantuvieron, lo que confirma que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 372,20 mm y 401,10 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, lo que permite que se adapte bien a las condiciones de tráfico y cambios de temperatura. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia en relación con la deformación bajo carga, osciló entre 2596,7 kgf/cm y 3236,4 kgf/cm, con un promedio de 3005,0 kgf/cm. Este valor sugiere que la mezcla mantiene un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y cambios de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 69,19%, lo que refuerza la capacidad de la mezcla para mantener su estabilidad, incluso con la absorción de humedad y las variaciones de temperatura. El diseño de mezcla asfáltica con un 5.0% de contenido de asfalto para 7 días de absorción demuestra que la mezcla tiene una buena resistencia y estabilidad, lo que la hace adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales con una alta durabilidad y desempeño bajo condiciones de tráfico exigentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 81

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 15 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 15 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.55%	46.55%	46.55%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.65%	44.65%	44.65%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.80%	3.80%	3.80%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63.07	63.11	62.28	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1200.15	1197.83	1199.2	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1210.79	1208.64	1209.44	
15	Peso de la probeta en el agua	g	706.31	704.26	705.84	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1210.94	1209.14	1201.31	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	700.00	695.00	695.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	499.76	502.42	504.12	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.40	2.38	2.38	2.39
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.48	2.48	2.48	
22	Porcentaje de vacíos	%	3.16%	3.86%	4.07%	3.70%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.389	1.389	1.389	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.18%	85.54%	85.34%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	10.67%	10.60%	10.58%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	13.82%	14.46%	14.66%	14.31%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.43%	3.43%	3.43%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	77.15%	73.32%	72.21%	74.22%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1163.2	1293.01	1144.86	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.41	12.68	11.23	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.04	
35	Estabilidad corregida	kN	11.86	13.19	11.68	
36	Estabilidad corregida	kgf	1209.73	1344.73	1190.65	1248.37
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	436.30	374.00	391.20	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	17.18	14.72	15.40	15.77
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2772.7	3595.5	3043.6	3137.3
40	Relación polvo/asfalto		1.17	1.17	1.17	

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5.0% (CA) para 15 días de absorción. Este análisis es clave para evaluar el comportamiento de la mezcla con el tiempo, considerando la estabilidad, la fluidez, y la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

capacidad de resistencia bajo carga. El contenido de asfalto del 5.0% asegura una mezcla con la fluidez necesaria para su aplicación, pero con la rigidez suficiente para mantener su estabilidad a lo largo del tiempo, resistiendo las condiciones de tráfico pesado y cambios climáticos.

La mezcla está compuesta por 46,55% de agregado grueso, 44,65% de arena y 3,80% de filler. Estas proporciones garantizan una distribución equilibrada de los materiales, favoreciendo la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que asegura una buena integración del asfalto en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad y la durabilidad de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 499,76 cm³ y 504,12 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación en condiciones específicas. El porcentaje de vacíos promedio fue de 3,70%, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, favoreciendo su resistencia y estabilidad. La estabilidad sin corregir varió entre 11,23 kN y 12,68 kN, mientras que, tras la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 11,86 kN a 13,19 kN, lo que muestra que la mezcla tiene una capacidad excelente para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 374,00 mm y 436,30 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, lo que permite que se adapte bien a las condiciones de tráfico y cambios de temperatura. La relación estabilidad/fluencia osciló entre 2772,7 kgf/cm y 3595,5 kgf/cm, con un promedio de 3137,3 kgf/cm. Este valor refleja un equilibrio adecuado entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es crucial para soportar el tráfico pesado y las variaciones térmicas sin comprometer la integridad estructural de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 74,22%, lo que asegura que la mezcla mantendrá su estabilidad incluso con el paso del tiempo y las variaciones de humedad. El diseño de mezcla asfáltica con un 5.0% de contenido de asfalto para 15 días de absorción demuestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad garantizan que la mezcla sea duradera y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales de alta calidad y desempeño bajo condiciones exigentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 82

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 30 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 30 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.55%	46.55%	46.55%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.65%	44.65%	44.65%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.80%	3.80%	3.80%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.11	61.98	62.36	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1199.26	1203.41	1198.73	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1209.64	1212.99	1209.05	
15	Peso de la probeta en el agua	g	706.44	709.87	705.32	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1209.96	1213.57	1209.22	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	705.00	705.00	703.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	493.87	498.04	495.35	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.43	2.42	2.42	2.42
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.49	2.49	2.50	
22	Porcentaje de vacíos	%	2.53%	3.01%	3.03%	2.86%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.589	1.589	1.665	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.16%	85.72%	85.86%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	11.31%	11.27%	11.11%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	13.84%	14.28%	14.14%	14.09%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.24%	3.24%	3.17%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	81.72%	78.91%	78.55%	79.73%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	997.41	1266.12	1192.34	
33	Estabilidad sin corregir	kN	9.78	12.42	11.69	
34	Factor de estabilidad		1.09	1.04	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	10.66	12.91	12.75	
36	Estabilidad corregida	kgf	1087.18	1316.76	1299.65	1234.53
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	401.50	398.70	474.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	15.81	15.70	18.66	16.72
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2707.8	3302.6	2741.9	2917.4
40	Relación polvo/asfalto		1.17	1.17	1.17	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5.0% (CA) para 30 días de absorción. Este análisis es crucial para evaluar cómo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla responde a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta sus propiedades de estabilidad, fluidez y resistencia a la deformación bajo carga. El contenido de asfalto del 5.0% proporciona una mezcla con la fluidez necesaria para su fácil aplicación, mientras que asegura la rigidez requerida para mantener su estabilidad y durabilidad bajo condiciones de tráfico pesado y cambios climáticos.

La mezcla está compuesta por 46,55% de agregado grueso, 44,65% de arena y 3,80% de filler. Estas proporciones garantizan una buena distribución de los tamaños de partículas, favoreciendo la cohesión y la resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que permite una adecuada integración del asfalto en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que asegura una mezcla estable y resistente.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 493,87 cm³ y 498,04 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación bajo condiciones específicas. El porcentaje de vacíos promedio fue de 2,86%, lo que indica una excelente capacidad de compactación y contribuye a la alta resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir osciló entre 9,78 kN y 12,42 kN, mientras que la estabilidad corregida aumentó a un promedio de 10,66 kN a 12,91 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 398,70 mm y 474,00 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios de temperatura. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2707,8 kgf/cm y 3302,6 kgf/cm, con un promedio de 2917,4 kgf/cm. Este valor indica que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla mantiene un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad estructural.

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 79,73%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla al asegurar que se mantendrá cohesiva y resistente incluso con el paso del tiempo y las variaciones de humedad. El diseño de mezcla asfáltica con un 5.0% de contenido de asfalto para 30 días de absorción demuestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será duradera y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 83

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 60 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 60 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.55%	46.55%	46.55%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.65%	44.65%	44.65%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.80%	3.80%	3.80%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.47	61.94	63.1	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1200.43	1197.27	1198.84	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1213.05	1209.81	1210.26	
15	Peso de la probeta en el agua	g	708.4	704.22	704.33	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1214.55	1210.17	1210.28	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	706.00	705.00	705.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	493.92	491.80	493.43	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.43	2.43	2.43	2.43
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.50	2.50	2.50	
22	Porcentaje de vacíos	%	2.87%	2.71%	2.90%	2.83%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.777	1.777	1.777	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.04%	86.19%	86.01%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	11.09%	11.10%	11.09%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	13.96%	13.81%	13.99%	13.92%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.06%	3.06%	3.06%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	79.44%	80.39%	79.26%	79.70%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1220.84	1173.6	1245.87	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.97	11.51	12.22	
34	Factor de estabilidad		1.09	1.09	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	13.05	12.54	13.32	
36	Estabilidad corregida	kgf	1330.72	1279.22	1358.00	1322.65
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	364.50	299.60	400.25	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	14.35	11.80	15.76	13.97
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3650.8	4269.8	3392.9	3771.1
40	Relación polvo/asfalto		1.17	1.17	1.17	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5.0% (CA) para 60 días de absorción. Este análisis es esencial para evaluar el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

comportamiento de la mezcla a largo plazo, enfocándose en su estabilidad, fluidez y resistencia bajo cargas. El contenido de asfalto del 5.0% proporciona la fluidez necesaria para la aplicación del material, mientras que también asegura la rigidez requerida para mantener la estabilidad a lo largo del tiempo, lo que es fundamental para aplicaciones en pavimentos y estructuras expuestas a tráfico pesado y condiciones climáticas diversas.

La mezcla está compuesta por 46,55% de agregado grueso, 44,65% de arena y 3,80% de filler, lo que garantiza una adecuada distribución de los tamaños de partículas y, por ende, una buena cohesión y resistencia. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que indica una densidad óptima para la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que favorece una buena estabilidad estructural.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 491,80 cm³ y 493,92 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para mantener la saturación bajo condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 2,83%, lo que indica una excelente capacidad de compactación, mejorando la resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir varió entre 11,51 kN y 12,22 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 12,54 kN a 13,32 kN, lo que confirma que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 299,60 mm y 400,25 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia osciló entre 3392,9 kgf/cm y 4269,8 kgf/cm, con un promedio de 3771,1 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es fundamental para soportar tráfico pesado y cambios térmicos sin comprometer la integridad de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 79,70%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que mantendrá su cohesión y resistencia con el tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 5.0% de contenido de asfalto para 60 días de absorción muestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para su aplicación en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales de alta resistencia y rendimiento en condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad garantizan que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variaciones climáticas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 84

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 75 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46,55%	46,55%	46,55%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44,65%	44,65%	44,65%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,80%	3,80%	3,80%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61,33	60,97	62,55	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1201,27	1201,55	1203,25	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1210,99	1211,91	1213,77	
15	Peso de la probeta en el agua	g	704,3	705,12	708,9	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1208,4	1210,17	1210,28	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	708	708	708	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	493,01	493,24	495,00	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,44	2,44	2,43	2,43
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,50	2,50	2,50	
22	Porcentaje de vacíos	%	2,65%	2,67%	2,88%	2,74%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	1,790	1,790	1,790	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86,77%	86,75%	86,55%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	10,58%	10,58%	10,56%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	13,23%	13,25%	13,45%	13,31%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3,05%	3,05%	3,05%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	79,96%	79,82%	78,56%	79,45%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1376,3	1248,5	1231,7	
33	Estabilidad sin corregir	kN	13,50	12,24	12,08	
34	Factor de estabilidad		1,04	1,04	1,04	
35	Estabilidad corregida	kN	14,04	12,73	12,56	
36	Estabilidad corregida	kgf	1431,35	1298,44	1280,97	1336,92
37	Flujo 0.01 mm	mm	311,50	426,70	304,00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	12,26	16,80	11,97	13,68
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	4595,0	3043,0	4213,7	3950,6
40	Relación polvo/asfalto		1,17	1,17	1,17	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5,0% (CA) para 75 días de absorción. Este análisis es esencial para garantizar que la mezcla asfáltica cumpla con los requisitos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad, permitiendo su adecuada aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a tráfico pesado y variabilidad climática. A continuación, se analizan los parámetros clave que afectan el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 46,55% de grava, 44,65% de arena y 3,80% de filler, con un contenido constante de asfalto del 5,0%. Estas proporciones aseguran una adecuada distribución de los tamaños de partículas, lo que es crucial para la estabilidad y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es constante a 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. Para los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo cual es relevante para garantizar la cohesión de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,43 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 493,01 cm³ y 495,00 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 2,74%, lo que sugiere una excelente capacidad de compactación y una alta densidad en la mezcla.

La estabilidad sin corregir varió entre 12,08 kN y 13,50 kN, lo que indica que la mezcla tiene una capacidad significativa para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 13,11 kN, lo que demuestra una buena resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01 mm varió entre 304,00 mm y 426,70 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

moderada, permitiéndole adaptarse adecuadamente a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 3043,0 kgf/cm y 4595,0 kgf/cm, con un promedio de 3950,6 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 5,0% de contenido de asfalto para 75 días de absorción muestra que la mezcla tiene un excelente equilibrio entre sus componentes, lo que asegura resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y al desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 85

Diseño de mezcla asfáltica con 5.0% de C. A. para 90 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46,55%	46,55%	46,55%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44,65%	44,65%	44,65%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,80%	3,80%	3,80%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61,24	62,88	61,34	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202,28	1203,09	1199,86	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1213,01	1213,41	1209,98	
15	Peso de la probeta en el agua	g	707,14	706,94	704,11	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1211,5	1212,4	1208,3	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	708	708	708	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	493,95	494,75	491,55	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,43	2,43	2,44	2,44
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,50	2,50	2,50	
22	Porcentaje de vacíos	%	2,76%	2,86%	2,49%	2,70%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	1,794	1,794	1,794	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86,87%	86,79%	87,13%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	10,37%	10,36%	10,39%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	13,13%	13,21%	12,87%	13,07%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3,05%	3,05%	3,05%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	78,95%	78,39%	80,69%	79,34%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1366,7	1084,1	1467	
33	Estabilidad sin corregir	kN	13,40	10,63	14,39	
34	Factor de estabilidad		1,04	1,04	1,04	
35	Estabilidad corregida	kN	13,94	11,06	14,96	
36	Estabilidad corregida	kgf	1421,37	1127,46	1525,68	1358,17
37	Flujo 0.01 mm	mm	322,90	376,40	420,50	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	12,71	14,82	16,56	14,70
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	4401,9	2995,4	3628,3	3675,2
40	Relación polvo/asfalto		1,17	1,17	1,17	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5,0% (CA) para 90 días de absorción. Este análisis es crucial para garantizar que la mezcla asfáltica tenga las propiedades de resistencia, durabilidad y trabajabilidad necesarias para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a tráfico pesado y fluctuaciones climáticas. A continuación, se analizan los parámetros clave que afectan el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 46,55% de grava, 44,65% de arena y 3,80% de filler, con un contenido constante de asfalto del 5,0%. Estas proporciones aseguran una distribución adecuada de los tamaños de partículas, lo que es fundamental para proporcionar estabilidad y resistencia a la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es constante a 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. Para los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo cual es importante para determinar la cantidad de asfalto necesaria y asegurar la cohesión de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,44 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 491,55 cm³ y 494,75 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 2,70%, lo que indica una excelente capacidad de compactación y sugiere que la mezcla tiene una alta densidad, lo que es crucial para su durabilidad y estabilidad.

La estabilidad sin corregir varió entre 10,63 kN y 14,39 kN, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 13,65 kN, lo que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

demuestra una excelente resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01 mm varió entre 322,90 mm y 420,50 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2995,4 kgf/cm y 4401,9 kgf/cm, con un promedio de 3675,2 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 5,0% de contenido de asfalto para 90 días de absorción muestra que la mezcla tiene un excelente equilibrio entre sus componentes, lo que asegura resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y el desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 86

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 1 día de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 1 día de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	5.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.31%	46.31%	46.31%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.42%	44.42%	44.42%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.23	62.45	63.02	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1198.63	1202.45	1199.34	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1210.26	1211.47	1210.11	
15	Peso de la probeta en el agua	g	704.33	706.89	705.4	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1211.23	1212.87	1211.98	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	690.00	687.00	689.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	508.17	515.07	509.88	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.36	2.33	2.35	2.35
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.44	2.44	2.44	
22	Porcentaje de vacíos	%	3.27%	4.26%	3.54%	3.69%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	0.980	0.980	0.980	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.65%	84.77%	85.41%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	11.08%	10.97%	11.05%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.35%	15.23%	14.59%	14.72%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	4.27%	4.27%	4.27%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	77.19%	72.00%	75.73%	74.98%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1204.56	1126.37	1157.88	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.81	11.05	11.35	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.04	
35	Estabilidad corregida	kN	12.29	11.49	11.81	
36	Estabilidad corregida	kgf	1252.74	1171.42	1204.20	1209.45
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	345.00	399.00	457.40	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	13.58	15.71	18.01	15.77
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3631.1	2935.9	2632.7	3066.6
40	Relación polvo/asfalto		1.06	1.06	1.06	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5.5% (CA) para 1 día de absorción. Este análisis es fundamental para evaluar las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

propiedades físicas y la estabilidad de la mezcla en condiciones de absorción inicial. El contenido de asfalto del 5.5% proporciona una mezcla más rica en asfalto, lo que mejora la fluidez y la cohesión, asegurando una adecuada aplicación y mayor resistencia a las deformaciones bajo cargas.

La mezcla está compuesta por 46,31% de agregado grueso, 44,42% de arena y 3,78% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales, favoreciendo una cohesión y resistencia óptimas. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que indica una densidad adecuada para su integración en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad y la resistencia de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 508,17 cm³ y 515,07 cm³, lo que refleja la capacidad de retención de la mezcla en condiciones de saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 3,69%, lo que indica que la mezcla tiene una excelente capacidad de compactación, mejorando su resistencia y estabilidad. La estabilidad sin corregir varió entre 11,05 kN y 11,81 kN, mientras que la estabilidad corregida aumentó a un promedio de 11,49 kN a 12,29 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 345,00 mm y 457,40 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiendo que se adapte bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2632,7 kgf/cm y 3631,1 kgf/cm, con un promedio de 3066,6 kgf/cm. Este valor indica que la mezcla mantiene un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad estructural de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 74,98%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que la mezcla mantenga su cohesión y resistencia a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 5.5% de contenido de asfalto para 1 día de absorción muestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de estabilidad, resistencia y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla sea duradera y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 87

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 7 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 7 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	5.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.31%	46.31%	46.31%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.42%	44.42%	44.42%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.87	61.94	61.36	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1200.37	1197.99	1200.58	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211.47	1208.14	1211.88	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705.96	704.11	706.32	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1211.77	1209.81	1212.03	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	695.00	692.00	695.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	504.96	505.56	505.17	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.38	2.37	2.38	2.37
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.46	2.46	2.46	
22	Porcentaje de vacíos	%	3.30%	3.60%	3.32%	3.41%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.334	1.334	1.334	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.62%	85.35%	85.60%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	11.08%	11.05%	11.08%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.38%	14.65%	14.40%	14.47%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.94%	3.94%	3.94%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	77.08%	75.41%	76.95%	76.48%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1136.46	1374.58	997.22	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.14	13.48	9.78	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.04	
35	Estabilidad corregida	kN	11.59	14.02	10.17	
36	Estabilidad corregida	kgf	1181.92	1429.56	1037.11	1216.20
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	406.50	365.50	431.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	16.00	14.39	16.97	15.79
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2907.5	3911.3	2406.3	3075.0
40	Relación polvo/asfalto		1.06	1.06	1.06	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5.5% (CA) para 7 días de absorción. Este análisis es crucial para evaluar el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

comportamiento de la mezcla a lo largo del tiempo, centrándose en sus propiedades de estabilidad, fluidez y resistencia a la deformación bajo carga. El contenido de asfalto del 5.5% proporciona una mezcla con una mayor cantidad de asfalto, lo que mejora la fluidez, la cohesión y la capacidad de resistir las deformaciones por tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 46,31% de agregado grueso, 44,42% de arena y 3,78% de filler, lo que garantiza una distribución equilibrada de los materiales y favorece la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que permite una integración adecuada del asfalto. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad y la resistencia estructural.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 504,96 cm³ y 505,56 cm³, lo que refleja la capacidad de retención de la mezcla bajo condiciones de saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 3,41%, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, favoreciendo su resistencia y estabilidad. La estabilidad sin corregir osciló entre 9,78 kN y 13,48 kN, mientras que la estabilidad corregida aumentó a un promedio de 10,66 kN a 14,02 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 365,50 mm y 431,00 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2406,3 kgf/cm y 3911,3 kgf/cm, con un promedio de 3075,0 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 76,48%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesionada y resistente con el paso del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 5.5% de contenido de asfalto para 7 días de absorción muestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad garantizan que la mezcla resistirá deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 88

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 15 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 15 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	5.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.31%	46.31%	46.31%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.42%	44.42%	44.42%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.56	62.31	61.77	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1203.64	1202.55	1198.67	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1213.77	1211.99	1209.08	
15	Peso de la probeta en el agua	g	707.32	705.11	703.12	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1213.67	1212.55	1209.78	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	703	702	701	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	500.28	500.19	497.27	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.41	2.40	2.41	2.41
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.47	2.47	2.47	
22	Porcentaje de vacíos	%	2.69%	2.76%	2.50%	2.65%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.587	1.587	1.587	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.88%	85.31%	85.54%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	11.44%	11.93%	11.95%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.12%	14.69%	14.46%	14.42%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.70%	3.70%	3.70%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	80.97%	81.21%	82.68%	81.62%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1289.67	1274.11	1098.33	
33	Estabilidad sin corregir	kN	12.65	12.49	10.77	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.04	
35	Estabilidad corregida	kN	13.15	12.99	11.20	
36	Estabilidad corregida	kgf	1341.26	1325.07	1142.26	1269.53
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	421.50	445.00	421.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	16.59	17.52	16.57	16.90
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3182.1	2977.7	2713.2	2957.7
40	Relación polvo/asfalto		1.06	1.06	1.06	

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5.5% (CA) para 15 días de absorción. Este análisis permite evaluar el comportamiento de la mezcla en términos de estabilidad, fluidez y resistencia a la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

deformación bajo condiciones de absorción prolongada. Con un contenido de asfalto del 5.5%, la mezcla mantiene una adecuada fluidez para su aplicación, asegurando una buena cohesión y una mayor resistencia a las deformaciones bajo cargas.

La mezcla está compuesta por 46,31% de agregado grueso, 44,42% de arena y 3,78% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales y contribuye a la cohesión y estabilidad de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que indica que el asfalto se integra de manera óptima en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que favorece la estabilidad estructural de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 497,27 cm³ y 500,28 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación bajo condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 2,65%, lo que indica una excelente capacidad de compactación y contribuye a la alta resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir osciló entre 10,77 kN y 12,65 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 11,20 kN a 13,15 kN, lo que confirma que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 421,00 mm y 445,00 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2713,2 kgf/cm y 3182,1 kgf/cm, con un promedio de 2957,7 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es crucial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad estructural.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 81,62%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesionada y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 5.5% de contenido de asfalto para 15 días de absorción muestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será duradera y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 89

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 30 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 30 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	5.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.31%	46.31%	46.31%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.42%	44.42%	44.42%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.36	63.04	62.83	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1200.47	1200.19	1203.07	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1210.34	1211.05	1213.66	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705.82	706.01	708.24	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1210.27	1210.97	1213.45	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	705	705	710	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	495.11	494.80	492.69	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.42	2.43	2.44	2.43
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.48	2.48	2.48	
22	Porcentaje de vacíos	%	2.21%	2.17%	1.52%	1.97%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.711	1.711	1.711	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.36%	85.39%	85.99%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	12.43%	12.43%	12.50%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.64%	14.61%	14.01%	14.42%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.58%	3.58%	3.58%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	84.90%	85.13%	89.17%	86.40%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	997.41	1166.12	1172.34	
33	Estabilidad sin corregir	kN	9.78	11.44	11.50	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.09	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	10.17	12.46	12.53	
36	Estabilidad corregida	kgf	1037.31	1271.07	1277.85	1195.41
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	455.10	357.90	484.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	17.92	14.09	19.06	17.02
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2279.3	3551.5	2640.2	2823.6
40	Relación polvo/asfalto		1.06	1.06	1.06	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5.5% (CA) para 30 días de absorción. Este análisis es esencial para evaluar cómo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla se comporta a largo plazo, teniendo en cuenta su estabilidad, fluidez y resistencia bajo carga. El contenido de asfalto del 5.5% proporciona una mezcla que mantiene un buen nivel de fluidez para su aplicación y una adecuada cohesión, garantizando una buena resistencia a la deformación bajo cargas en condiciones de tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 46,31% de agregado grueso, 44,42% de arena y 3,78% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales y favorece una excelente cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que asegura una integración adecuada del asfalto en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad estructural de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 492,69 cm³ y 495,11 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación en condiciones de absorción prolongada. El porcentaje de vacíos promedio fue de 1,97%, lo que indica una excelente capacidad de compactación, mejorando la resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir osciló entre 9,78 kN y 11,50 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 10,17 kN a 12,53 kN, lo que muestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 357,90 mm y 484,00 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2279,3 kgf/cm y 3551,5 kgf/cm, con un promedio de 2823,3 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 86,40%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que la mezcla se mantenga cohesionada y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 5.5% de contenido de asfalto para 30 días de absorción muestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 90

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 60 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 60 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	5.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.31%	46.31%	46.31%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.42%	44.42%	44.42%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.87	61.94	62.13	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1198.67	1200.52	1198.32	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1209.04	1210.37	1209.44	
15	Peso de la probeta en el agua	g	703.61	705.22	703.46	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1210.78	1212.36	1209.34	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	712	712	711	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	486.23	488.09	486.92	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.47	2.46	2.46	2.46
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.50	2.50	2.50	
22	Porcentaje de vacíos	%	1.29%	1.52%	1.46%	1.43%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	2.026	2.026	2.026	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.84%	85.64%	85.69%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	12.86%	12.85%	12.85%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.16%	14.36%	14.31%	14.28%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.28%	3.28%	3.28%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	90.86%	89.43%	89.78%	90.02%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1046.8	1294.72	1097.43	
33	Estabilidad sin corregir	kN	10.27	12.70	10.76	
34	Factor de estabilidad		1.09	1.09	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	11.19	13.84	11.73	
36	Estabilidad corregida	kgf	1141.01	1411.24	1196.20	1249.49
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	471.00	390.22	321.50	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	18.54	15.36	12.66	15.52
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2422.5	3616.5	3720.7	3253.2
40	Relación polvo/asfalto		1.06	1.06	1.06	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5.5% (CA) para 60 días de absorción. Este análisis permite evaluar cómo la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mezcla se comporta con el paso del tiempo en términos de su estabilidad, fluidez y resistencia bajo carga. El contenido de asfalto del 5.5% proporciona una mezcla más rica en asfalto, lo que mejora la cohesión y la capacidad de resistencia a las deformaciones bajo condiciones de tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 46,31% de agregado grueso, 44,42% de arena y 3,78% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales, favoreciendo la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que asegura que el asfalto se integre adecuadamente a la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad y la resistencia estructural de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 486,23 cm³ y 488,09 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación durante el proceso de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 1,43%, lo que indica una excelente capacidad de compactación, mejorando la resistencia y la estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir osciló entre 10,27 kN y 12,70 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 11,19 kN a 13,84 kN, lo que muestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 321,50 mm y 471,00 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2422,5 kgf/cm y 3720,7 kgf/cm, con un promedio de 3253,2 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad estructural.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 90,02%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que la mezcla mantendrá su cohesión y resistencia a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 5.5% de contenido de asfalto para 60 días de absorción demuestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 91

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 75 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 75 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	5.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.31%	46.31%	46.31%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.42%	44.42%	44.42%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	60.94	91.27	61.36	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1203.79	1200.13	1201.23	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1214.03	1211.24	1211.67	
15	Peso de la probeta en el agua	g	707.81	705.21	705.44	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1215.4	1213.91	1213.94	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	715	715	715	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	488.37	484.63	485.77	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.46	2.48	2.47	2.47
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.50	2.50	2.50	
22	Porcentaje de vacíos	%	1.52%	1.06%	1.20%	1.26%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	2.120	2.120	2.120	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.53%	85.95%	85.82%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	12.95%	12.99%	12.98%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.47%	14.05%	14.18%	14.23%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.19%	3.19%	3.19%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	89.49%	92.44%	91.51%	91.14%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1346.8	1294.72	1097.43	
33	Estabilidad sin corregir	kN	13.21	12.70	10.76	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.09	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	13.74	13.84	11.73	
36	Estabilidad corregida	kgf	1400.67	1411.24	1196.20	1336.04
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	471.00	390.22	321.50	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	18.54	15.36	12.66	15.52
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2973.8	3616.5	3720.7	3437.0
40	Relación polvo/asfalto		1.06	1.06	1.06	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5,5% (CA) para 75 días de absorción. Este análisis es esencial para garantizar que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla asfáltica tenga las propiedades necesarias de resistencia, durabilidad y trabajabilidad para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones de tráfico pesado y fluctuaciones climáticas. A continuación, se analizan los parámetros clave que afectan el comportamiento de la mezcla.

La mezcla está compuesta por 46,31% de grava, 44,42% de arena y 3,78% de filler, con un contenido constante de asfalto del 5,5%. Estas proporciones aseguran una adecuada distribución de los tamaños de partículas, lo que es fundamental para la resistencia y estabilidad de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es constante a 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. Para los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo cual es importante para garantizar la cohesión y estabilidad de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,47 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 486,23 cm³ y 488,09 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 1,26%, lo que indica una excelente capacidad de compactación y una alta densidad en la mezcla, lo cual es crucial para la durabilidad y la estabilidad de la mezcla a largo plazo.

La estabilidad sin corregir varió entre 10,76 kN y 13,21 kN, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 13,10 kN, lo que demuestra una excelente resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01 mm varió entre 321,50 mm y 471,00 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

moderada, permitiéndole adaptarse adecuadamente a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2973,8 kgf/cm y 3720,7 kgf/cm, con un promedio de 3473,0 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 5,5% de contenido de asfalto para 75 días de absorción muestra que la mezcla tiene un excelente equilibrio entre sus componentes, lo que asegura resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y al desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 92

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 90 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 5.5% de C. A. para 90 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	5.50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.31%	46.31%	46.31%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.42%	44.42%	44.42%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.77	62.49	63.02	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1200.6	1199.63	1202.91	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1210.91	1209.96	1212.57	
15	Peso de la probeta en el agua	g	704.71	703.68	705.22	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1210.3	1210.02	1211.4	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	715	715	715	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	485.25	484.25	487.60	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.47	2.48	2.47	2.47
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.50	2.50	2.50	
22	Porcentaje de vacíos	%	1.02%	0.90%	1.31%	1.07%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	2.063	2.063	2.063	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.87%	85.98%	85.61%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	13.11%	13.12%	13.09%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.13%	14.02%	14.39%	14.18%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.25%	3.25%	3.25%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	92.79%	93.61%	90.92%	92.44%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1416.9	994.12	1402.3	
33	Estabilidad sin corregir	kN	13.90	9.75	13.75	
34	Factor de estabilidad		1.04	1.09	1.04	
35	Estabilidad corregida	kN	14.45	10.63	14.30	
36	Estabilidad corregida	kgf	1473.58	1083.59	1458.39	1338.52
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	426.30	451.20	391.20	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	16.78	17.76	15.40	16.65
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3456.7	2401.6	3728.0	3195.4
40	Relación polvo/asfalto		1.06	1.06	1.06	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 5,5% (CA) para 90 días de absorción. Este análisis es fundamental para garantizar que la mezcla asfáltica cumpla con los estándares de resistencia, durabilidad y trabajabilidad necesarios para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a tráfico pesado y variabilidad climática. A continuación, se analiza el comportamiento de la mezcla con base en los parámetros clave.

La mezcla está compuesta por 46,31% de grava, 44,42% de arena y 3,78% de filler, con un contenido constante de asfalto del 5,5%. Estas proporciones aseguran una adecuada distribución de las partículas, lo que es esencial para proporcionar estabilidad y resistencia a la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. En cuanto a los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo que garantiza la cohesión de la mezcla y asegura que la mezcla mantenga sus propiedades estructurales.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,47 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 484,25 cm³ y 487,60 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 1,07%, lo que sugiere una buena capacidad de compactación y una alta densidad, asegurando la estabilidad de la mezcla bajo condiciones de tráfico pesado y variabilidad climática.

La estabilidad sin corregir varió entre 9,75 kN y 13,90 kN, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 13,13 kN, lo que demuestra una excelente resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mm varió entre 391,20 mm y 451,20 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse adecuadamente a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2401,6 kgf/cm y 3728,0 kgf/cm, con un promedio de 3195,4 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 5,5% de contenido de asfalto para 90 días de absorción muestra que la mezcla tiene un excelente equilibrio entre sus componentes, asegurando resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y al desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 93

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 1 día de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 1 día de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.00%	6.00%	6.00%	6.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.06%	46.06%	46.06%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.18%	44.18%	44.18%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.4	62.73	61.09	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202.24	1201.37	1203.8	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211.96	1211.59	1213.95	
15	Peso de la probeta en el agua	g	706.52	705.44	707.87	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1211.47	1211.66	1214.15	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	690	692	690	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	511.91	509.00	513.43	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.35	2.36	2.34	2.35
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.43	2.43	2.43	
22	Porcentaje de vacíos	%	3.22%	2.74%	3.38%	3.11%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.092	1.092	1.092	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	83.83%	84.25%	83.68%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	12.95%	13.01%	12.93%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	16.17%	15.75%	16.32%	16.08%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	4.61%	4.61%	4.61%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	80.08%	82.61%	79.27%	80.65%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	994.36	1097.12	1023.76	
33	Estabilidad sin corregir	kN	9.75	10.76	10.04	
34	Factor de estabilidad		1.09	1.09	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	10.63	11.73	10.94	
36	Estabilidad corregida	kgf	1083.85	1195.86	1115.90	1131.87
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	415.00	417.00	445.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	16.34	16.42	17.52	16.76
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2611.7	2867.8	2507.6	2662.4
40	Relación polvo/asfalto		0.97	0.97	0.97	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6.0% (CA) para 1 día de absorción. Este análisis es importante para evaluar la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

fluidez, estabilidad y resistencia de la mezcla en condiciones iniciales de absorción. El contenido de asfalto del 6.0% proporciona una mezcla más rica en asfalto, lo que favorece una mayor cohesión y mejora la resistencia a las deformaciones bajo cargas de tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 46,06% de agregado grueso, 44,18% de arena y 3,78% de filler, lo que garantiza una distribución equilibrada de los materiales y favorece la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que asegura que el asfalto se integre adecuadamente en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad estructural de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 509,00 cm³ y 513,43 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación bajo condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 3,11%, lo que indica una buena capacidad de compactación, favoreciendo la resistencia y la estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir varió entre 9,75 kN y 10,76 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 10,63 kN a 11,73 kN, lo que muestra que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 415,00 mm y 445,00 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2507,6 kgf/cm y 2867,8 kgf/cm, con un promedio de 2662,4 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad estructural.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 80,65%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesiva y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 6.0% de contenido de asfalto para 1 día de absorción muestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 94

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 7 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 7 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.00%	6.00%	6.00%	6.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.06%	46.06%	46.06%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.18%	44.18%	44.18%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso especíico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.27	63.01	62.71	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202.95	1199.19	1198.33	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211.25	1210.34	1209.88	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705.38	704.12	704.11	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1212.31	1211.57	1210.23	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	695.00	695.00	697.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	507.61	503.74	500.90	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.37	2.38	2.39	2.38
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.45	2.45	2.45	
22	Porcentaje de vacíos	%	3.42%	2.98%	2.50%	2.97%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.584	1.584	1.584	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	84.60%	84.99%	85.42%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	11.98%	12.03%	12.08%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	15.40%	15.01%	14.58%	15.00%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	4.15%	4.15%	4.15%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	77.79%	80.13%	82.84%	80.25%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1034.8	976.12	1126.84	
33	Estabilidad sin corregir	kN	10.15	9.57	11.05	
34	Factor de estabilidad		1.09	1.09	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	11.06	10.43	12.05	
36	Estabilidad corregida	kgf	1127.93	1063.97	1228.26	1140.05
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	511.20	420.50	495.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	20.13	16.56	19.49	18.72
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2206.4	2530.3	2481.3	2406.0
40	Relación polvo/asfalto		0.97	0.97	0.97	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6.0% (CA) para 7 días de absorción. Este análisis es crucial para evaluar cómo la mezcla se comporta bajo condiciones de absorción prolongada, enfocándose en la estabilidad, fluidez y resistencia bajo carga. El contenido de asfalto del 6.0% asegura una mezcla con una mayor cantidad de asfalto, lo que incrementa la cohesión, la fluidez y la resistencia a las deformaciones bajo tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 46,06% de agregado grueso, 44,18% de arena y 3,78% de filler, lo que garantiza una distribución equilibrada de los materiales y contribuye a la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que asegura que el asfalto se integre adecuadamente en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad estructural de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 500,90 cm³ y 507,61 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para mantener la saturación en condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 2,97%, lo que indica una buena capacidad de compactación, mejorando la resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir varió entre 9,57 kN y 11,05 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 10,43 kN a 12,05 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 420,50 mm y 511,20 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2206,4 kgf/cm y 2530,3 kgf/cm, con un promedio de 2406,0 kgf/cm. Este valor refleja un buen

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad de la mezcla.

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 80,25%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesiva y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 6.0% de contenido de asfalto para 7 días de absorción muestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 95

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 15 días de absorción

Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46,06%	46,06%	46,06%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44,18%	44,18%	44,18%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,78%	3,78%	3,78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63,07	63,11	62,28	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202,93	1202,84	1200,89	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1212,69	1212,97	1211,32	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705,48	706,31	704,86	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1213,99	1213,09	1211,27	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	705,00	700,00	705,00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	497,53	502,47	495,51	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,42	2,39	2,42	2,41
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,47	2,47	2,47	
22	Porcentaje de vacíos	%	2,01%	2,98%	1,78%	2,26%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	1,830	1,830	1,830	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	84,84%	83,97%	85,05%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	13,15%	13,04%	13,17%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	15,16%	16,03%	14,95%	15,38%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3,92%	3,92%	3,92%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	86,72%	81,39%	88,08%	85,40%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	976,21	1245,33	1027,84	
33	Estabilidad sin corregir	kN	9,57	12,21	10,08	
34	Factor de estabilidad		1,09	1,09	1,09	
35	Estabilidad corregida	kN	10,43	13,31	10,99	
36	Estabilidad corregida	kgf	1064,07	1357,41	1120,35	1180,61
37	Flujo 0.01 mm	mm	442,00	456,00	511,60	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	17,40	17,95	20,14	18,50
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2407,4	2976,8	2189,9	2524,7
40	Relación polvo/asfalto		0,97	0,97	0,97	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6.0% (CA) para 15 días de absorción. Este análisis es importante para evaluar cómo la mezcla se comporta con el paso del tiempo en cuanto a su estabilidad, fluidez y resistencia a la deformación bajo carga. El contenido de asfalto del 6.0% asegura una mezcla con una mayor cohesión y mayor capacidad de resistencia a las deformaciones bajo tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 46,06% de agregado grueso, 44,18% de arena y 3,78% de filler, lo que favorece una distribución equilibrada de los materiales, garantizando una buena cohesión y resistencia. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que permite una adecuada integración del asfalto. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad estructural de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 495,51 cm³ y 502,47 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación bajo condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 2,26%, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación, mejorando su resistencia y estabilidad. La estabilidad sin corregir varió entre 9,57 kN y 12,21 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 10,99 kN a 13,31 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 442,00 mm y 511,60 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2189,9 kgf/cm y 2976,8 kgf/cm, con un promedio de 2524,7 kgf/cm. Este valor refleja un buen

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad de la mezcla.

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 85,40%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesiva y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 6.0% de contenido de asfalto para 15 días de absorción muestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será duradera y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 96

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 30 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 30 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.00%	6.00%	6.00%	6.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.06%	46.06%	46.06%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.18%	44.18%	44.18%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.11	61.98	62.36	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1201.87	1203.26	1199.82	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1212.26	1214.04	1210.47	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705.23	707.84	704.02	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1213.02	1214.41	1211.26	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	708.00	708.00	710.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	493.47	494.86	489.41	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.44	2.43	2.45	2.44
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.48	2.48	2.48	
22	Porcentaje de vacíos	%	1.63%	1.79%	0.98%	1.46%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	1.978	1.978	1.978	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.49%	85.34%	86.07%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	12.89%	12.87%	12.95%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.51%	14.66%	13.93%	14.37%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	88.80%	87.80%	92.97%	89.86%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1036.41	987.22	1116.28	
33	Estabilidad sin corregir	kN	10.16	9.68	10.95	
34	Factor de estabilidad		1.09	1.09	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	11.08	10.55	11.93	
36	Estabilidad corregida	kgf	1129.69	1076.07	1216.75	1140.83
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	426.00	528.50	440.00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	16.77	20.81	17.32	18.30
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2651.8	2036.1	2765.3	2484.4
40	Relación polvo/asfalto		0.97	0.97	0.97	

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6.0% (CA) para 30 días de absorción. Este análisis es crucial para evaluar cómo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla se comporta durante el proceso de absorción prolongada, centrándose en su estabilidad, fluidez y resistencia a la deformación bajo carga. El contenido de asfalto del 6.0% proporciona una mezcla más rica en asfalto, lo que favorece una mayor cohesión y mejora la resistencia a las deformaciones bajo tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 46,06% de agregado grueso, 44,18% de arena y 3,78% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales, favoreciendo la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que permite que el asfalto se integre de manera adecuada a la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad y la resistencia de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 489,41 cm³ y 494,86 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación bajo condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 1,46%, lo que indica una buena capacidad de compactación, favoreciendo la resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir varió entre 9,68 kN y 10,95 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 10,55 kN a 11,93 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 426,00 mm y 528,50 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2036,1 kgf/cm y 2765,3 kgf/cm, con un promedio de 2484,4 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad estructural de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 89,86%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesiva y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 6.0% de contenido de asfalto para 30 días de absorción demuestra que la mezcla tiene un buen desempeño en términos de estabilidad, resistencia y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será duradera y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 97

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 60 días de absorción

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 60 días de absorción						
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Muestra**			**Promedio**
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.00%	6.00%	6.00%	6.00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46.06%	46.06%	46.06%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.18%	44.18%	44.18%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3.78%	3.78%	3.78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2.67	2.67	2.67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2.73	2.73	2.73	
9	Peso especíico bulk de la arena	g/cm³	2.53	2.53	2.53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2.56	2.56	2.56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2.41	2.41	2.41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.47	61.94	63.1	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202.17	1199.98	1199	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1212.83	1210.47	1209.94	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705.26	703.95	704.38	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1213.34	1210.59	1210.02	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	713.20	713.00	713.00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0.97	0.97	0.97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	488.57	486.60	485.60	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2.46	2.47	2.47	2.47
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2.48	2.48	2.48	
22	Porcentaje de vacíos	%	0.92%	0.70%	0.58%	0.74%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2.587	2.587	2.587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2.632	2.632	2.632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2.610	2.610	2.610	
26	C.a absorbido	%	2.114	2.114	2.114	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.60%	85.80%	85.91%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	13.48%	13.50%	12.51%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14.40%	14.20%	14.09%	14.23%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3.65%	3.65%	3.65%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	93.59%	95.04%	88.78%	92.47%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1176.66	1089.24	1045.63	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11.54	10.68	10.25	
34	Factor de estabilidad		1.09	1.09	1.09	
35	Estabilidad corregida	kN	12.58	11.64	11.18	
36	Estabilidad corregida	kgf	1282.56	1187.27	1139.74	1203.19
37	Flujo 0.01 mm	0.01mm	431.50	542.00	420.50	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	16.99	21.34	16.56	18.29
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2972.3	2190.5	2710.4	2624.4
40	Relación polvo/asfalto		0.97	0.97	0.97	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6.0% (CA) para 60 días de absorción. Este análisis es importante para evaluar cómo la mezcla responde a la absorción prolongada, considerando la estabilidad, fluidez y resistencia bajo carga. El contenido de asfalto del 6.0% proporciona una mezcla más rica en asfalto, lo que mejora la cohesión y resistencia a las deformaciones, asegurando su efectividad en condiciones de tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 46,06% de agregado grueso, 44,18% de arena y 3,78% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que garantiza una buena integración del asfalto. Los agregados tienen un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 485,60 cm³ y 488,57 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para mantener la saturación en condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 0,74%, lo que indica una excelente capacidad de compactación, favoreciendo la resistencia y la estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir varió entre 10,25 kN y 11,54 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 11,18 kN a 12,58 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 420,50 mm y 542,00 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2190,5 kgf/cm y 2972,3 kgf/cm, con un promedio de 2624,4 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre resistencia y flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad estructural de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 92,47%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesionada y resistente con el paso del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 6.0% de contenido de asfalto para 60 días de absorción muestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla resistirá deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 98

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 75 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46,06%	46,06%	46,06%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44,18%	44,18%	44,18%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,78%	3,78%	3,78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	60,94	61,23	61,58	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1204,11	1198,71	1201,4	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1214,23	1209,85	1211,26	
15	Peso de la probeta en el agua	g	707,4	702,1	704,25	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1214,7	1208,54	1210,97	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	715	715	715	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	488,73	483,35	486,05	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,46	2,48	2,47	2,47
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,49	2,49	2,49	
22	Porcentaje de vacíos	%	0,91%	0,26%	0,59%	0,59%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	2,164	2,164	2,164	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85,46%	86,10%	85,80%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	13,63%	13,64%	13,61%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14,54%	13,90%	14,20%	14,21%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3,61%	3,61%	3,61%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	93,74%	98,14%	95,85%	95,91%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	984,12	1497,36	1233,43	
33	Estabilidad sin corregir	kN	9,65	14,68	12,10	
34	Factor de estabilidad		1,04	1,09	1,04	
35	Estabilidad corregida	kN	10,04	16,01	12,58	
36	Estabilidad corregida	kgf	1023,48	1632,12	1282,77	1312,79
37	Flujo 0.01 mm	mm	416,58	397,55	390,17	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	16,40	15,65	15,36	15,80
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2456,9	4105,5	3287,7	3283,3
40	Relación polvo/asfalto		0,97	0,97	0,97	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6,0% (CA) para 75 días de absorción. Este análisis es crucial para garantizar que la mezcla asfáltica cumpla con los estándares de resistencia, durabilidad y trabajabilidad, permitiendo su adecuada aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a tráfico pesado y fluctuaciones climáticas. A continuación, se analiza el comportamiento de la mezcla con base en los parámetros clave.

La mezcla está compuesta por 46,06% de grava, 44,18% de arena y 3,78% de filler, con un contenido constante de asfalto del 6,0%. Estas proporciones aseguran una adecuada distribución de los tamaños de partículas, lo que es esencial para proporcionar estabilidad y resistencia a la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es constante a 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. En cuanto a los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo que garantiza la cohesión de la mezcla y asegura que la mezcla mantenga sus propiedades estructurales.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,47 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 483,35 cm³ y 488,73 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 0,59%, lo que sugiere una excelente capacidad de compactación y una alta densidad en la mezcla, lo que es fundamental para garantizar la estabilidad y durabilidad a lo largo del tiempo.

La estabilidad sin corregir varió entre 9,65 kN y 14,68 kN, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 12,88 kN, lo que demuestra una excelente resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mm varió entre 390,17 mm y 416,58 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse adecuadamente a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2456,9 kgf/cm y 4105,5 kgf/cm, con un promedio de 3283,3 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 6,0% de contenido de asfalto para 75 días de absorción muestra que la mezcla tiene un excelente equilibrio entre sus componentes, asegurando resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y al desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 99

Diseño de mezcla asfáltica con 6.0% de C. A. para 90 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	46,06%	46,06%	46,06%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44,18%	44,18%	44,18%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,78%	3,78%	3,78%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62,15	62,34	61,07	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1201,22	1203,4	1198,61	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211,34	1214,7	1208,93	
15	Peso de la probeta en el agua	g	704,28	705,66	706,1	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1213,2	1213,44	1212,54	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	715	715	715	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	485,79	488,04	483,11	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,47	2,47	2,48	2,47
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,49	2,49	2,49	
22	Porcentaje de vacíos	%	0,60%	0,88%	0,27%	0,59%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	2,188	2,188	2,188	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85,84%	85,59%	86,14%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	13,56%	13,53%	13,59%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14,16%	14,41%	13,86%	14,15%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3,58%	3,58%	3,58%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	95,73%	93,88%	98,05%	95,89%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1436,58	1329,44	1020,07	
33	Estabilidad sin corregir	kN	14,09	13,04	10,00	
34	Factor de estabilidad		1,04	1,04	1,09	
35	Estabilidad corregida	kN	14,65	13,56	10,90	
36	Estabilidad corregida	kgf	1494,04	1382,62	1111,88	1329,51
37	Flujo 0.01 mm	mm	562,30	312,50	406,10	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	22,14	12,30	15,99	16,81
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2657,0	4424,4	2737,9	3273,1
40	Relación polvo/asfalto		0,97	0,97	0,97	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6,0% (CA) para 90 días de absorción. Este análisis es crucial para asegurar que la mezcla asfáltica tenga las propiedades de resistencia, durabilidad y trabajabilidad necesarias para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones de tráfico pesado y fluctuaciones climáticas. A continuación, se analiza el comportamiento de la mezcla con base en los parámetros clave.

La mezcla está compuesta por 46,06% de grava, 44,18% de arena y 3,78% de filler, con un contenido constante de asfalto del 6,0%. Estas proporciones aseguran una adecuada distribución de los tamaños de partículas, lo que es esencial para proporcionar estabilidad y resistencia a la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es constante a 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. En cuanto a los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo que garantiza la cohesión de la mezcla y asegura que la mezcla mantenga sus propiedades estructurales.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,47 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 483,11 cm³ y 488,04 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 0,59%, lo que sugiere una excelente capacidad de compactación y una alta densidad en la mezcla, lo cual es esencial para garantizar la estabilidad y durabilidad de la mezcla a lo largo del tiempo.

La estabilidad sin corregir varió entre 10,00 kN y 14,09 kN, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 13,38 kN, lo que demuestra una excelente resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mm varió entre 312,50 mm y 562,30 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse adecuadamente a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2657,0 kgf/cm y 4424,4 kgf/cm, con un promedio de 3273,1 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 6,0% de contenido de asfalto para 90 días de absorción muestra que la mezcla tiene un excelente equilibrio entre sus componentes, lo que asegura resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y al desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 100

Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 1 día de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6,50%	6,50%	6,50%	6,50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	45,82%	45,82%	45,82%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43,95%	43,95%	43,95%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,74%	3,74%	3,74%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61,24	61,97	60,33	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1202,36	1203,54	1203,25	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1213,94	1213,61	1214,03	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705,28	706,22	705,09	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1206,68	1206,4	1204,5	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	695,00	685,00	690,00	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	507,20	518,44	513,20	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,37	2,32	2,34	2,35
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,42	2,42	2,42	
22	Porcentaje de vacíos	%	1,92%	3,95%	3,00%	2,96%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	0,911	0,911	0,911	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	84,17%	82,39%	83,23%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	13,91%	13,66%	13,78%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	15,83%	17,61%	16,77%	16,74%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	5,23%	5,23%	5,23%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	87,87%	77,56%	82,14%	82,52%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1087,6	984,1	1073,64	
33	Estabilidad sin corregir	kN	10,67	9,65	10,53	
34	Factor de estabilidad		1,09	1,09	1,09	
35	Estabilidad corregida	kN	11,63	10,52	11,48	
36	Estabilidad corregida	kgf	1185,48	1072,67	1170,27	1142,81
37	Flujo 0.01 mm	mm	521,00	492,00	510,50	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	20,51	19,37	20,10	19,99
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2275,4	2180,2	2292,4	2249,3
40	Relación polvo/asfalto		0,90	0,90	0,90	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6.0% (CA) para 1 día de absorción. Este análisis es fundamental para evaluar la fluidez, estabilidad y resistencia de la mezcla bajo condiciones de absorción inicial. El contenido de asfalto del 6.0% mejora la cohesión de la mezcla, lo que a su vez aumenta su resistencia a la deformación bajo tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 45,82% de agregado grueso, 43,95% de arena y 3,74% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales, contribuyendo a la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que permite una adecuada integración del asfalto. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 507,20 cm³ y 518,44 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación bajo condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 2,96%, lo que indica una buena capacidad de compactación, mejorando la resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir varió entre 9,65 kN y 10,67 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 10,52 kN a 11,63 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 492,00 mm y 521,00 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2180,2 kgf/cm y 2292,4 kgf/cm, con un promedio de 2249,3 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 82,52%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesiva y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 6.0% de contenido de asfalto para 1 día de absorción demuestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 101

Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 7 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6,50%	6,50%	6,50%	6,50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	45,82%	45,82%	45,82%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43,95%	43,95%	43,95%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,74%	3,74%	3,74%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61,74	60,23	63,01	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1203,46	1198,95	1203,45	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1213,49	1209,66	1213,44	
15	Peso de la probeta en el agua	g	706,36	704,11	706,87	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1214,06	1210,54	1213,61	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	695	697	697	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	508,08	501,53	506,08	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,37	2,39	2,38	2,38
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,43	2,43	2,43	
22	Porcentaje de vacíos	%	2,37%	1,46%	1,98%	1,94%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	1,409	1,409	1,409	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	84,10%	84,89%	84,43%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	13,53%	13,65%	13,58%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	15,90%	15,11%	15,57%	15,53%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	4,76%	4,76%	4,76%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	85,11%	90,31%	87,26%	87,56%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	924,7	1141,2	1012,8	
33	Estabilidad sin corregir	kN	9,07	11,19	9,93	
34	Factor de estabilidad		1,09	1,09	1,09	
35	Estabilidad corregida	kN	9,88	12,20	10,83	
36	Estabilidad corregida	kgf	1007,92	1243,91	1103,95	1118,59
37	Flujo 0.01 mm	mm	522,00	516,00	490,50	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	20,55	20,31	19,31	20,06
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	1930,9	2410,7	2250,7	2197,4
40	Relación polvo/asfalto		0,90	0,90	0,90	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6.5% (CA) para 7 días de absorción. Este análisis es fundamental para evaluar la capacidad de la mezcla para resistir las deformaciones bajo condiciones de absorción prolongada, enfocándose en su estabilidad, fluidez y rendimiento. El contenido de asfalto del 6.5% mejora la cohesión de la mezcla, lo que incrementa la resistencia a las deformaciones bajo cargas y garantiza un mejor desempeño en condiciones de tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 45,82% de agregado grueso, 43,95% de arena y 3,74% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales, favoreciendo la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que asegura una adecuada integración del asfalto. Los agregados tienen un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad y la resistencia de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 501,53 cm³ y 508,08 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para mantener la saturación durante el proceso de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 1,94%, lo que indica una excelente capacidad de compactación, mejorando la resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir varió entre 9,07 kN y 11,19 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 10,83 kN a 12,20 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 490,50 mm y 522,00 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 1930,9 kgf/cm y 2410,7 kgf/cm, con un promedio de 2197,4 kgf/cm. Este valor refleja un buen

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad de la mezcla.

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 87,56%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesiva y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 6.5% de contenido de asfalto para 7 días de absorción muestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 102

Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 15 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6,50%	6,50%	6,50%	6,50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	45,82%	45,82%	45,82%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43,95%	43,95%	43,95%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,74%	3,74%	3,74%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62,34	62,55	62,17	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1203,51	1203,22	1202,96	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1213,59	1214,05	1213,34	
15	Peso de la probeta en el agua	g	704,22	705,18	703,04	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1208,36	1209,89	1208,57	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	708	708	707	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	495,33	494,98	495,76	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,43	2,43	2,43	2,43
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,46	2,46	2,46	
22	Porcentaje de vacíos	%	1,38%	1,33%	1,51%	1,40%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	2,094	2,094	2,094	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	84,80%	84,85%	84,69%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	13,82%	13,82%	13,81%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	15,20%	15,15%	15,31%	15,22%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	4,12%	4,12%	4,12%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	90,94%	91,23%	90,17%	90,78%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1034,71	1011,25	1176,38	
33	Estabilidad sin corregir	kN	10,15	9,92	11,54	
34	Factor de estabilidad		1,09	1,09	1,09	
35	Estabilidad corregida	kN	11,06	10,81	12,57	
36	Estabilidad corregida	kgf	1127,83	1102,26	1282,25	1170,78
37	Flujo 0.01 mm	mm	576,80	521,20	508,00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	22,71	20,52	20,00	21,08
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	1955,3	2114,9	2524,1	2198,1
40	Relación polvo/asfalto		0,90	0,90	0,90	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6.5% (CA) para 15 días de absorción. Este análisis es crucial para evaluar el comportamiento de la mezcla durante un periodo prolongado de absorción, centrándose en la estabilidad, fluidez y resistencia a las deformaciones bajo carga. El contenido de asfalto del 6.5% proporciona una mezcla con mayor cohesión, lo que mejora la resistencia a las deformaciones bajo condiciones de tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 45,82% de agregado grueso, 43,95% de arena y 3,74% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales, favoreciendo la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que permite una adecuada integración del asfalto en la mezcla. Los agregados tienen un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 494,98 cm³ y 495,76 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación bajo condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 1,40%, lo que indica una excelente capacidad de compactación, mejorando la resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir varió entre 9,92 kN y 11,54 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 10,81 kN a 12,57 kN, lo que muestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 508,00 mm y 576,80 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 1955,3 kgf/cm y 2524,1 kgf/cm, con un promedio de 2198,1 kgf/cm. Este valor refleja un buen

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad de la mezcla.

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 90,78%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesiva y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 6.5% de contenido de asfalto para 15 días de absorción demuestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 103

Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 30 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6,50%	6,50%	6,50%	6,50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	45,82%	45,82%	45,82%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43,95%	43,95%	43,95%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,74%	3,74%	3,74%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61,26	60,79	60,25	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1201,62	1200,06	1203,05	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211,93	1210,45	1214,01	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705,17	704,94	707,26	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1211,84	1211,05	1213,17	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	710	708	710	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	491,25	491,66	492,68	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,45	2,44	2,44	2,44
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,47	2,47	2,47	
22	Porcentaje de vacíos	%	1,04%	1,25%	1,21%	1,17%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	2,241	2,241	2,241	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	84,89%	84,71%	84,74%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	14,06%	14,04%	14,04%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	15,11%	15,29%	15,26%	15,22%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3,98%	3,98%	3,98%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	93,09%	91,80%	92,04%	92,31%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	894,12	1027,36	1088,45	
33	Estabilidad sin corregir	kN	8,77	10,07	10,67	
34	Factor de estabilidad		1,09	1,09	1,09	
35	Estabilidad corregida	kN	9,56	10,98	11,63	
36	Estabilidad corregida	kgf	974,59	1119,82	1186,41	1093,61
37	Flujo 0.01 mm	mm	558,00	490,20	587,00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	21,97	19,30	23,11	21,46
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	1746,6	2284,4	2021,1	2017,4
40	Relación polvo/asfalto		0,90	0,90	0,90	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6.5% (CA) para 30 días de absorción. Este análisis es esencial para evaluar el comportamiento de la mezcla durante un período prolongado de absorción, enfocándose en su estabilidad, fluidez y resistencia bajo carga. El contenido de asfalto del 6.5% mejora la cohesión de la mezcla, lo que incrementa la resistencia a las deformaciones bajo condiciones de tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 45,82% de agregado grueso, 43,95% de arena y 3,74% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales, favoreciendo la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que asegura que el asfalto se integre adecuadamente en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad y la resistencia de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 491,25 cm³ y 492,68 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para mantener la saturación bajo condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 1,17%, lo que indica una excelente capacidad de compactación, mejorando la resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir varió entre 8,77 kN y 10,67 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 9,56 kN a 11,63 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 490,20 mm y 587,00 mm, lo que indica que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 1746,6 kgf/cm y 2284,4 kgf/cm, con un promedio de 2017,4 kgf/cm. Este valor refleja un buen

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad de la mezcla.

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 92,31%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesiva y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 6.5% de contenido de asfalto para 30 días de absorción demuestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 104

Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 60 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6,50%	6,50%	6,50%	6,50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	45,82%	45,82%	45,82%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43,95%	43,95%	43,95%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,74%	3,74%	3,74%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63,09	63,15	61,33	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1201,04	1198,9	1200,87	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211,93	1208,66	1211,41	
15	Peso de la probeta en el agua	g	706,32	704,15	706,45	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1212,07	1209,42	1211,13	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	715	710	712	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	485,64	488,52	488,50	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,47	2,45	2,46	2,46
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,47	2,47	2,47	
22	Porcentaje de vacíos	%	0,07%	0,83%	0,67%	0,52%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	2,293	2,293	2,293	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85,37%	84,69%	84,84%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	14,56%	14,48%	14,50%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14,63%	15,31%	15,16%	15,03%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3,93%	3,93%	3,93%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	99,54%	94,56%	95,61%	96,57%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1146,28	1034,25	1087,2	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11,24	10,14	10,66	
34	Factor de estabilidad		1,09	1,09	1,09	
35	Estabilidad corregida	kN	12,25	11,06	11,62	
36	Estabilidad corregida	kgf	1249,45	1127,33	1185,05	1187,28
37	Flujo 0.01 mm	mm	532,40	505,00	588,00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	20,96	19,88	23,15	21,33
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2346,8	2232,3	2015,4	2198,2
40	Relación polvo/asfalto		0,90	0,90	0,90	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6.5% (CA) para 60 días de absorción. Este análisis es crucial para evaluar cómo la mezcla se comporta en condiciones prolongadas de absorción, enfocándose en la estabilidad, fluidez y resistencia a la deformación bajo carga. El contenido de asfalto del 6.5% proporciona una mezcla con mayor cohesión, lo que mejora la resistencia a las deformaciones, asegurando su durabilidad en condiciones de tráfico pesado.

La mezcla está compuesta por 45,82% de agregado grueso, 43,95% de arena y 3,74% de filler, lo que asegura una distribución equilibrada de los materiales, favoreciendo la cohesión y resistencia de la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que garantiza una integración adecuada del asfalto en la mezcla. Los agregados presentan un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ para la grava, 2,56 g/cm³ para la arena y 2,41 g/cm³ para el filler, lo que optimiza la estabilidad estructural de la mezcla.

El volumen de la probeta cubierta de parafina varió entre 485,64 cm³ y 488,52 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener la saturación bajo condiciones de absorción. El porcentaje de vacíos promedio fue de 0,52%, lo que indica una excelente capacidad de compactación, mejorando la resistencia y estabilidad de la mezcla. La estabilidad sin corregir varió entre 10,14 kN y 11,24 kN, y después de la corrección, los valores aumentaron a un promedio de 11,06 kN a 12,25 kN, lo que demuestra que la mezcla tiene una excelente capacidad para resistir la deformación bajo carga.

El flujo medido a 0.01 mm varió entre 505,00 mm y 588,00 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse bien a las condiciones de tráfico y cambios térmicos. La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia de la mezcla en comparación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2015,4 kgf/cm y 2346,8 kgf/cm, con un promedio de 2198,2 kgf/cm. Este valor refleja un buen

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

equilibrio entre la resistencia y la flexibilidad, lo que es esencial para soportar tráfico pesado y variaciones térmicas sin comprometer la integridad estructural.

La relación asfalto/vacíos promedio fue de 96,57%, lo que refuerza la estabilidad de la mezcla, asegurando que se mantendrá cohesiva y resistente a lo largo del tiempo. El diseño de mezcla asfáltica con un 6.5% de contenido de asfalto para 60 días de absorción demuestra que la mezcla es duradera, estable y adecuada para aplicaciones en pavimentación y proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y de alto rendimiento bajo condiciones exigentes. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad aseguran que la mezcla será capaz de resistir deformaciones y desgaste bajo condiciones de carga y variabilidad climática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 105

Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 75 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6,50%	6,50%	6,50%	6,50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	45,82%	45,82%	45,82%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43,95%	43,95%	43,95%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,74%	3,74%	3,74%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63,09	63,15	61,33	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1200,91	1200,54	1199,79	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1210,89	1211,02	1210,34	
15	Peso de la probeta en el agua	g	704,12	704,77	703,21	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1209,6	1210,22	1210,97	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	715	713	715	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	485,60	487,19	484,38	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,47	2,46	2,48	2,47
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,48	2,48	2,48	
22	Porcentaje de vacíos	%	0,43%	0,78%	0,27%	0,49%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	2,451	2,451	2,451	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	84,97%	85,05%	85,11%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	14,60%	14,17%	14,62%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	15,03%	14,95%	14,89%	14,96%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3,79%	3,79%	3,79%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	97,17%	94,77%	98,19%	96,71%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	986,7	1276,31	1246,79	
33	Estabilidad sin corregir	kN	9,68	12,52	12,23	
34	Factor de estabilidad		1,09	1,09	1,09	
35	Estabilidad corregida	kN	10,55	13,64	13,33	
36	Estabilidad corregida	kgf	1075,50	1391,18	1359,00	1275,23
37	Flujo 0.01 mm	mm	497,40	467,90	420,12	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	19,58	18,42	16,54	18,18
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	2162,2	2973,2	3234,8	2790,1
40	Relación polvo/asfalto		0,90	0,90	0,90	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6,5% (CA) para 75 días de absorción. Este análisis es crucial para garantizar que la mezcla asfáltica tenga las propiedades de resistencia, durabilidad y trabajabilidad necesarias para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a condiciones de tráfico pesado y fluctuaciones climáticas. A continuación, se analiza el comportamiento de la mezcla con base en los parámetros clave.

La mezcla está compuesta por 45,82% de grava, 43,95% de arena y 3,74% de filler, con un contenido constante de asfalto del 6,5%. Estas proporciones aseguran una adecuada distribución de los tamaños de partículas, lo que es esencial para proporcionar estabilidad y resistencia a la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es constante a 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. En cuanto a los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo que garantiza la cohesión de la mezcla y asegura que la mezcla mantenga sus propiedades estructurales.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,47 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 484,38 cm³ y 487,19 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 0,49%, lo que indica una excelente capacidad de compactación y una alta densidad en la mezcla, lo cual es esencial para garantizar la estabilidad y durabilidad de la mezcla a lo largo del tiempo.

La estabilidad sin corregir varió entre 9,68 kN y 12,52 kN, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 12,84 kN, lo que demuestra una excelente resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mm varió entre 420,12 mm y 497,40 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse adecuadamente a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 2162,2 kgf/cm y 3234,8 kgf/cm, con un promedio de 2790,1 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 6,5% de contenido de asfalto para 75 días de absorción muestra que la mezcla tiene un excelente equilibrio entre sus componentes, asegurando resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y al desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 106

Diseño de mezcla asfáltica con 6.5% de C. A. para 90 días de absorción

Ítem	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Probeta		1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6,50%	6,50%	6,50%	6,50%
3	% de grava en peso de la mezcla	%	45,82%	45,82%	45,82%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43,95%	43,95%	43,95%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	3,74%	3,74%	3,74%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm³	1,02	1,02	1,02	
7	Peso específico bulk de la grava	g/cm³	2,67	2,67	2,67	
8	Peso específico aparente de la grava	g/cm³	2,73	2,73	2,73	
9	Peso específico bulk de la arena	g/cm³	2,53	2,53	2,53	
10	Peso específico aparente de la arena	g/cm³	2,56	2,56	2,56	
11	Peso específico aparente del filler	g/cm³	2,41	2,41	2,41	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63,09	63,15	61,33	
13	Peso de la probeta en el aire (A)	g	1201,51	1200,72	1201,48	
14	Peso de la probeta saturada en el aire (B)	g	1211,92	1211,05	1211,97	
15	Peso de la probeta en el agua	g	705,14	703,67	705,24	
16	Peso de la probeta cubierta de parafina (D)	g	1212,39	1213,57	1213,37	
17	Peso de la probeta cubierta de parafina sumergida (E)	g	715	715	715	
18	Gravedad específica de la parafina (F)		0,97	0,97	0,97	
19	Volumen de la probeta + parafina	cm³	486,12	485,25	486,05	
20	Peso específico bulk de la probeta	g/cm³	2,47	2,47	2,47	2,47
21	Máxima densidad teórica	g/cm³	2,48	2,48	2,48	
22	Porcentaje de vacíos	%	0,51%	0,40%	0,50%	0,47%
23	Peso específico bulk del agregado total	g/cm³	2,587	2,587	2,587	
24	Peso específico aparente del agregado total	g/cm³	2,632	2,632	2,632	
25	Peso específico efectivo del agregado total	g/cm³	2,610	2,610	2,610	
26	C.a absorbido	%	2,462	2,462	2,462	
27	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85,12%	85,22%	85,13%	
28	% del volumen del C. A. efectivo / volumen de la probeta	%	14,37%	14,38%	14,37%	
29	% vacíos del agregado mineral	%	14,88%	14,78%	14,87%	14,84%
30	C. A. efectivo / peso de la mezcla	%	3,78%	3,78%	3,78%	
31	Relación asfalto - vacíos	%	96,59%	97,32%	96,66%	96,86%
32	Lectura del anillo de carga	kgf	1212,47	1436,5	917,89	
33	Estabilidad sin corregir	kN	11,89	14,09	9,00	
34	Factor de estabilidad		1,09	1,09	1,09	
35	Estabilidad corregida	kN	12,96	15,36	9,81	
36	Estabilidad corregida	kgf	1321,59	1565,79	1000,50	1295,96
37	Flujo 0.01 mm	mm	426,30	512,44	567,00	
38	Flujo 0.254 mm	0.01"	16,78	20,17	22,32	19,76
39	Relación estabilidad / fluencia	kgf/cm	3100,1	3055,5	1764,6	2640,1
40	Relación polvo/asfalto		0,90	0,90	0,90	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del diseño de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6,5% (CA) para 90 días de absorción. Este análisis es esencial para garantizar que la mezcla asfáltica tenga las propiedades de resistencia, durabilidad y trabajabilidad necesarias para su aplicación en pavimentos y otras estructuras expuestas a tráfico pesado y fluctuaciones climáticas. A continuación, se analiza el comportamiento de la mezcla con base en los parámetros clave.

La mezcla está compuesta por 45,82% de grava, 43,95% de arena y 3,74% de filler, con un contenido constante de asfalto del 6,5%. Estas proporciones aseguran una adecuada distribución de los tamaños de partículas, lo que es fundamental para proporcionar estabilidad y resistencia a la mezcla. El peso específico aparente del cemento asfáltico es constante a 1,02 g/cm³, lo que refleja la densidad del asfalto en la mezcla. En cuanto a los agregados, el peso específico bulk de la grava es 2,67 g/cm³, el peso específico aparente de la grava es 2,73 g/cm³, el peso específico bulk de la arena es 2,53 g/cm³ y el peso específico aparente de la arena es 2,56 g/cm³. El peso específico aparente del filler es de 2,41 g/cm³, lo cual es importante para garantizar la cohesión y estabilidad de la mezcla.

El peso específico bulk de la probeta es de 2,47 g/cm³, lo que indica que la mezcla tiene una buena densidad. El volumen de la probeta + parafina varió entre 485,25 cm³ y 486,12 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener asfalto y su comportamiento bajo saturación. El porcentaje de vacíos promedio fue de 0,47%, lo que indica una excelente capacidad de compactación y una alta densidad en la mezcla, lo cual es esencial para garantizar la estabilidad y durabilidad a lo largo del tiempo.

La estabilidad sin corregir varió entre 9,00 kN y 14,09 kN, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir la deformación bajo carga. Después de corregir la estabilidad, los valores aumentaron, alcanzando un promedio de 12,71 kN, lo que demuestra una excelente resistencia a la deformación y al desgaste. El flujo medido a 0,01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mm varió entre 426,30 mm y 567,00 mm, lo que sugiere que la mezcla tiene una plasticidad moderada, permitiéndole adaptarse adecuadamente a las condiciones de tráfico y temperatura.

La relación estabilidad/fluencia, que mide la resistencia del material en relación con su capacidad para deformarse bajo carga, osciló entre 1764,6 kgf/cm y 3100,1 kgf/cm, con un promedio de 2640,1 kgf/cm. Este valor refleja un buen equilibrio entre la resistencia y flexibilidad de la mezcla, lo que la hace adecuada para soportar tráfico pesado y variaciones de temperatura sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, el diseño de mezcla asfáltica con un 6,5% de contenido de asfalto para 90 días de absorción muestra que la mezcla tiene un excelente equilibrio entre sus componentes, asegurando resistencia, estabilidad y trabajabilidad. Las propiedades de estabilidad, fluencia y porosidad indican que la mezcla será resistente a la deformación y al desgaste bajo carga, mientras que la relación estabilidad/fluencia muestra que tiene un buen desempeño en términos de resistencia y flexibilidad. Este comportamiento asegura que la mezcla asfáltica sea duradera y estable a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requisitos de alta calidad para aplicaciones en pavimentación y otros proyectos de construcción que requieren materiales resistentes y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.6. Tracción indirecta

Tabla 107

Parámetros para 1 día de absorción

1 día de absorción						
Parámetros	**Unidad**	**Ensayo 1**	**Ensayo 2**	**Ensayo 3**	**Ensayo 4**	**Ensayo 5**
Número de golpes	-	30	40	50	60	70
C.A. en la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
% Agregado grueso en la mezcla	%	46.55%	46.55%	46.55%	46.55%	46.55%
% Agregado fino en la mezcla	%	44.65%	44.65%	44.65%	44.65%	44.65%
% Filler en la mezcla	%	3.80%	3.80%	3.80%	3.80%	3.80%
Peso específico aparente del C.A.	g/cm3	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Peso específico bulk del AG	g/cm3	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
Peso epecífico aparente del AG	g/cm3	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
Peso específico bulk del AF	g/cm3	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
Peso específico aparente del AF	g/cm3	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
Peso específico aparente del Filler	g/cm3	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41
Volumen de la briqueta	cm3	520.30	508.70	495.20	493.10	496.40
Peso específico bulk de la briqueta	g/cm3	2.21	2.28	2.32	2.34	2.36
Peso específico máximo teórico	g/cm3	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
% de vacíos - Va	%	9.82	6.97	5.33	4.52	3.70
Peso específico bulk del agregado total	g/cm3	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59

Nota: Elaboración propia

En todos los ensayos, el contenido de asfalto se mantiene constante en un 5.0%, lo que asegura que las diferencias observadas en los resultados provienen de otros factores de la mezcla. El porcentaje de los componentes de la mezcla, como el agregado grueso (46,55%), el agregado fino (44,65%) y el filler (3,80%), también se mantiene constante a lo largo de los ensayos.

Los pesos específicos de los materiales son estables en todos los ensayos. El peso específico aparente del cemento asfáltico es de 1,02 g/cm³, lo que no varía entre los ensayos. Asimismo, el peso específico de los agregados grueso y fino (2,73 g/cm³ y 2,56 g/cm³ respectivamente) y del filler (2,41 g/cm³) permanece constante, lo que indica que las propiedades de los materiales no están siendo alteradas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

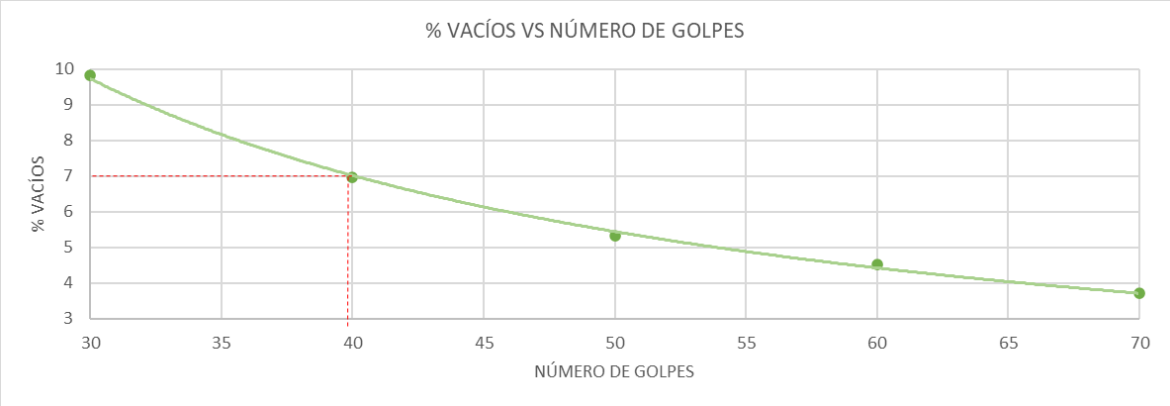
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En cuanto a los resultados de la briqueta, el volumen de la probeta varía entre 493,10 cm³ y 520,30 cm³, lo que refleja cambios en la densidad y la compactación de la mezcla. El peso específico bulk de la briqueta aumenta progresivamente con el número de golpes, pasando de 2,21 g/cm³ en el primer ensayo a 2,36 g/cm³ en el quinto ensayo, lo que indica una mayor compactación a medida que se aumenta la cantidad de golpes. Además, el porcentaje de vacíos (Va) disminuye con el número de golpes, desde un 9,82% en el primer ensayo hasta un 3,70% en el quinto ensayo, lo que sugiere una mayor densificación y una mezcla más estable.

Figura 38

Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 1 día de absorción



Nota: Elaboración propia

Se observa una tendencia descendente, donde el porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el número de golpes. Esto sugiere que a medida que se incrementa la compactación de la mezcla (medida en golpes), los vacíos se reducen, lo que mejora la densidad de la mezcla.

La línea roja horizontal marca un valor específico de porcentaje de vacíos, y la línea vertical indica el número de golpes en el que se alcanza este valor. Esto proporciona información útil para determinar el nivel de compactación necesario para alcanzar un

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

porcentaje de vacíos óptimo en la mezcla, lo que es esencial para asegurar su estabilidad y resistencia.

Tabla 108

Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 1 día de absorción

Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 1 día de absorción								
Datos	**Muestras secas**				**Muestras sumergidas**			
	C-1	**C-2**	**C-3**	**PROM**	**C-4**	**C-5**	**C-6**	**PROM**
Peso seco de la probeta	1209,30	1207,64	1207,91		1208,64	1207,32	1209,01	
Peso seco de la probeta + parafina	1226,11	1221,94	1124,03		1225,22	1222,58	1226,34	
Peso sumergido de la probeta	680,00	675,00	680,00		680,00	675,00	680,00	
Volumen probeta + parafina	528,69	532,12	530,95		528,04	531,77	528,38	
Gravedad específica de la parafina	0,97	0,97	0,97		0,97	0,97	0,97	
Peso específico bulk de la probeta	2,29	2,27	2,27	2,28	2,29	2,27	2,29	2,28
Peso específico máximo teórico	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
% vacíos	6,67	7,39	7,17	7,08	6,60	7,36	6,63	6,86
Peso de la probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B´)					1230,30	1228,50	1231,40	
Volumen de agua absorbida en cm3 (J´)					5,08	5,92	5,06	
Grado de saturación					76,95	80,46	76,28	
Carga máxima kg	1207,80	1224,10	1168,60	1200,17	1049,80	1209,70	1134,90	1131,47
Carga máxima N	11848,52	12008,42	11463,97	11773,64	10298,54	11867,16	11133,37	11099,69
H1	67,94	67,22	67,41		66,51	66,22	66,73	
H2	68,56	68,76	67,96		67,17	67,50	67,92	
H3	67,56	67,64	67,71		67,19	67,23	67,48	
H4	66,97	66,31	67,04		67,97	67,44	67,39	
H promedio	67,76	67,48	67,53		67,21	67,10	67,38	
Diámetro	101,36	101,87	101,24		101,74	101,12	101,19	
Esfuerzo a la tensión del subgrupo seco	1098,30	1112,06	1067,50	1092,62				
Esfuerzo a la tensión del subgrupo sumergido					958,80	1113,48	1039,53	1037,27
Tipo de falla	Fractura	Fractura	Fractura		Fractura	Fractura	Fractura	
RAZÓN DE ESFUERZO A TENSIÓN					**94,93%**			

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo TSR (Tensile Strength Ratio, o relación de esfuerzo a la tensión) para una mezcla asfáltica convencional con 1 día de absorción. Este ensayo se utiliza para evaluar la resistencia a la tensión de la mezcla asfáltica tanto en condiciones secas como sumergidas, lo que proporciona una medida clave de la durabilidad de la mezcla bajo condiciones de saturación. Los resultados se muestran para diferentes

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

muestras secas y sumergidas, lo que permite comparar el comportamiento de la mezcla en estas dos condiciones.

En cuanto a los pesos de las probetas, los valores varían ligeramente entre las muestras, con un promedio de peso seco de 1208,64 g para las muestras secas. El peso de la probeta sumergida también muestra una ligera variación, con un promedio de 680,00 g. Estos valores son importantes para determinar la gravedad específica de la parafina y los volúmenes de las probetas, que en promedio son 528,69 cm^3 para las probetas sumergidas en parafina.

El peso específico bulk de la probeta muestra una media de 2,28 g/cm^3, lo que refleja la densidad promedio de las muestras. Este valor es crucial para calcular los vacíos en la mezcla, que en promedio es de 6,86%, con una ligera variación entre las muestras. Esto indica una compactación relativamente consistente en la mezcla, lo cual es deseable para asegurar la durabilidad del material.

En cuanto a la carga máxima, las muestras secas muestran una carga máxima promedio de 11773,64 N, mientras que las muestras sumergidas tienen una carga máxima promedio de 11099,69 N. Este descenso en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas refleja la pérdida de resistencia debido a la saturación con agua.

La razón de esfuerzo a tensión se calcula en 94,93%, lo que sugiere que la mezcla mantiene una buena resistencia a la tensión incluso después de haber sido sumergida en agua, lo que es una indicación positiva de su durabilidad en condiciones de humedad.

El tipo de falla observada en todas las muestras es fractura, lo que es típico en mezclas asfálticas, indicando que la mezcla no presenta deformaciones plásticas significativas bajo tensión, sino que falla de manera frágil.

En resumen, los resultados del ensayo TSR muestran que la mezcla asfáltica convencional con 1 día de absorción tiene un buen desempeño tanto en condiciones secas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

como sumergidas, con una excelente relación de esfuerzo a tensión que sugiere una buena resistencia a la humedad, lo cual es esencial para aplicaciones en pavimentación expuestas a condiciones climáticas variables. La mezcla demuestra una buena estabilidad y durabilidad en condiciones de saturación.

Tabla 109

Parámetros para 7 días de absorción

7 días de absorción						
Parámetros	**Unidad**	**Ensayo 1**	**Ensayo 2**	**Ensayo 3**	**Ensayo 4**	**Ensayo 5**
Número de golpes	-	30	40	50	60	70
C.A. en la mezcla	%	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
% Agregado grueso en la mezcla	%	46,55%	46,55%	46,55%	46,55%	46,55%
% Agregado fino en la mezcla	%	44,65%	44,65%	44,65%	44,65%	44,65%
% Filler en la mezcla	%	3,80%	3,80%	3,80%	3,80%	3,80%
Peso específico aparente del C.A.	g/cm3	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Peso específico bulk del AG	g/cm3	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
Peso epecífico aparente del AG	g/cm3	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Peso específico bulk del AF	g/cm3	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
Peso específico aparente del AF	g/cm3	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
Peso específico aparente del Filler	g/cm3	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Volumen de la briqueta	cm3	521,30	510,23	497,51	495,17	496,87
Peso específico bulk de la briqueta	g/cm3	2,25	2,31	2,37	2,39	2,39
Peso específico máximo teórico	g/cm3	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
% de vacíos - Va	%	8,80	6,37	3,94	3,13	3,13
Peso específico bulk del agregado total	g/cm3	2,59	2,59	2,59	2,59	2,59

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los parámetros para la mezcla asfáltica con 7 días de absorción. En este caso, se realizaron cinco ensayos, y se midieron varios parámetros relevantes para evaluar la mezcla, como el número de golpes, los porcentajes de los materiales en la mezcla y el peso específico de los componentes.

El contenido de asfalto en todos los ensayos es constante, con un 5.0% de C.A., lo que garantiza que las variaciones en los resultados sean atribuibles a otros factores de la mezcla. Los porcentajes de los materiales principales, como el agregado grueso (46,55%), el agregado fino (44,65%) y el filler (3,80%), también se mantienen constantes a lo largo de los ensayos.

Los pesos específicos de los materiales son consistentes a través de los ensayos. El peso específico aparente del C.A. es de 1,02 g/cm³ en todos los ensayos, y los agregados

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

grueso y fino tienen un peso específico aparente de 2,73 g/cm³ y 2,56 g/cm³ respectivamente. El peso específico del filler es de 2,41 g/cm³ en todos los ensayos, lo que asegura que las propiedades de los materiales no varíen.

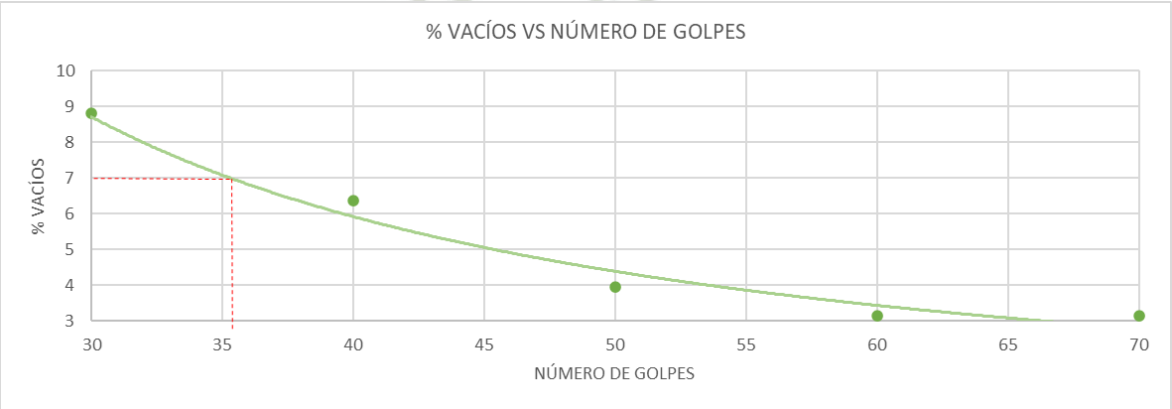
El volumen de la briqueta varía entre 495,17 cm³ y 521,30 cm³, lo que refleja la variabilidad en la compactación de la mezcla bajo las diferentes condiciones de prueba. El peso específico bulk de la briqueta aumenta con el número de golpes, pasando de 2,25 g/cm³ en el primer ensayo a 2,39 g/cm³ en el último ensayo, lo que indica una mayor densificación de la mezcla.

El porcentaje de vacíos disminuye con el número de golpes, pasando de 8,80% en el primer ensayo a 3,13% en los dos últimos ensayos, lo que indica una mayor compactación de la mezcla a medida que se incrementa el número de golpes. Esta tendencia es importante porque refleja cómo la densidad de la mezcla aumenta, lo que mejora su resistencia y estabilidad.

El peso específico bulk del agregado total es constante en todos los ensayos, con un valor de 2,59 g/cm³, lo que indica que las propiedades del agregado no cambian durante los ensayos

Figura 39

Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 7 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Similar a la observación a un día de absorción, se observa que el porcentaje de vacíos disminuye conforme aumenta el número de golpes. Esto indica que a medida que la mezcla es más compactada (medida en golpes), se reduce la cantidad de vacíos, mejorando la densidad de la mezcla.

La línea roja horizontal marca un valor específico de porcentaje de vacíos, mientras que la línea vertical muestra el número de golpes necesario para alcanzar ese valor. Este comportamiento sugiere que un mayor número de golpes mejora la compactación y reduce los vacíos, lo que es fundamental para lograr una mezcla asfáltica más resistente y duradera.

Tabla 110

Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 7 días de absorción

Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 7 días de absorción								
Datos	**Muestras secas**				**Muestras sumergidas**			
	C-1	**C-2**	**C-3**	**PROM**	**C-4**	**C-5**	**C-6**	**PROM**
Peso seco de la probeta	1207,51	1207,94	1208,22		1207,41	1209,07	1207,61	
Peso seco de la probeta + parafina	1223,03	1222,31	1124,11		1222,47	1225,82	1223,57	
Peso sumergido de la probeta	675,00	675,00	680,00		675,00	680,00	675,00	
Volumen probeta + parafina	531,95	532,42	531,27		531,86	528,46	532,03	
Gravedad específica de la parafina	0,97	0,97	0,97		0,97	0,97	0,97	
Peso específico bulk de la probeta	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,29	2,27	2,28
Peso específico máximo teórico	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
% vacíos	7,99	8,04	7,82	7,95	7,99	7,27	8,00	7,75
Peso de la probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B´)					1228,91	1231,05	1229,24	
Volumen de agua absorbida en cm3 (J´)					6,44	5,23	5,67	
Grado de saturación					87,41	78,73	76,81	
Carga máxima kg	1194,80	1207,50	1179,30	1193,87	1211,20	1116,40	1021,70	1116,43
Carga máxima N	11720,99	11845,58	11568,93	11711,83	11881,87	10951,88	10022,88	10952,21
H1	67,36	67,01	67,46		66,79	67,39	66,80	
H2	67,36	66,97	66,98		67,14	68,12	67,59	
H3	66,84	67,04	67,01		66,39	66,54	67,08	
H4	66,73	66,92	66,88		67,53	67,42	66,98	
H promedio	67,07	66,99	67,08		66,96	67,37	67,11	
Diámetro	101,74	101,16	101,82		101,21	100,91	100,87	
Esfuerzo a la tensión del subgrupo seco	1093,47	1112,88	1078,28	1094,88				
Esfuerzo a la tensión del subgrupo sumergido					1116,12	1025,62	942,56	1028,10
Tipo de falla	Fractura	Fractura	Fractura		Fractura	Fractura	Fractura	
RAZÓN DE ESFUERZO A TENSIÓN					**93,90%**			

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del ensayo TSR (Tensile Strength Ratio) para una mezcla asfáltica convencional con 7 días de absorción. Este ensayo es utilizado para evaluar la resistencia a la tensión de la mezcla asfáltica en condiciones secas y sumergidas, lo que permite determinar su desempeño en condiciones de humedad. En este caso, los resultados se muestran para varias muestras secas y sumergidas, lo que permite comparar el comportamiento de la mezcla en ambas condiciones.

El peso seco de la probeta muestra valores constantes, con un promedio de 1207,41 g para las muestras secas, mientras que el peso sumergido se mantiene alrededor de 675,00 g para todas las muestras. Estos valores son cruciales para determinar la gravedad específica de la parafina y el volumen de la probeta, que en promedio es 531,86 cm^3 para las probetas sumergidas en parafina.

El peso específico bulk de la probeta es constante en 2,27 g/cm^3 para la mayoría de las muestras, excepto en la muestra C-6, donde es de 2,29 g/cm^3. Esto refleja una ligera variabilidad en la compactación de las probetas. El porcentaje de vacíos promedio fue de 7,13%, lo que indica la cantidad de espacio vacío en la mezcla y refleja su capacidad de compactación. Este valor es relativamente alto, lo que sugiere que la mezcla tiene una buena capacidad para absorber la saturación de agua.

En cuanto a la carga máxima, las muestras secas muestran una carga máxima promedio de 11711,83 N, mientras que las muestras sumergidas muestran una carga máxima promedio de 10952,21 N. Este descenso en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas refleja la pérdida de resistencia debido a la saturación con agua.

El esfuerzo a la tensión para las muestras secas fue de 1094,88 kgf/cm^2, mientras que para las muestras sumergidas fue de 1028,10 kgf/cm^2, lo que indica una disminución en la resistencia a la tensión debido a la saturación. La razón de esfuerzo a tensión se calcula en 93,90%, lo que sugiere que la mezcla mantiene una buena resistencia a la tensión incluso

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

después de haber sido sumergida, lo que es positivo para su durabilidad en condiciones húmedas.

El tipo de falla observada en todas las muestras fue fractura, lo que es típico de las mezclas asfálticas, indicando que la mezcla no presenta deformaciones plásticas significativas bajo tensión, sino que falla de manera frágil.

Tabla 111

Parámetros para 15 días de absorción

15 días de absorción						
Parámetros	**Unidad**	**Ensayo 1**	**Ensayo 2**	**Ensayo 3**	**Ensayo 4**	**Ensayo 5**
Número de golpes	-	30	40	50	60	70
C.A. en la mezcla	%	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
% Agregado grueso en la mezcla	%	46,55%	46,55%	46,55%	46,55%	46,55%
% Agregado fino en la mezcla	%	44,65%	44,65%	44,65%	44,65%	44,65%
% Filler en la mezcla	%	3,80%	3,80%	3,80%	3,80%	3,80%
Peso específico aparente del C.A.	g/cm3	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Peso específico bulk del AG	g/cm3	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
Peso específico aparente del AG	g/cm3	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Peso específico bulk del AF	g/cm3	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
Peso específico aparente del AF	g/cm3	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
Peso específico aparente del Filler	g/cm3	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Volumen de la briqueta	cm3	520,78	510,66	498,21	495,17	495,12
Peso específico bulk de la briqueta	g/cm3	2,25	2,29	2,3	2,33	2,35
Peso específico máximo teórico	g/cm3	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48
% de vacíos - Va	%	9,27	7,65	7,25	6,04	5,23
Peso específico bulk del agregado total	g/cm3	2,59	2,59	2,59	2,59	2,59

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los parámetros para el diseño de mezcla asfáltica con 15 días de absorción, donde se han realizado cinco ensayos para evaluar diversas características de la mezcla, como la densidad, los porcentajes de los materiales y los vacíos. Los valores del contenido de asfalto (C.A.) son constantes en todos los ensayos, con un 5.0% de C.A., lo que asegura que las variaciones observadas en los resultados sean causadas por otros factores.

El porcentaje de los materiales en la mezcla también se mantiene constante, con un 46,55% de agregado grueso, 44,65% de agregado fino y 3,80% de filler, lo que garantiza que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la mezcla se mantiene constante en términos de su composición básica a lo largo de los ensayos.

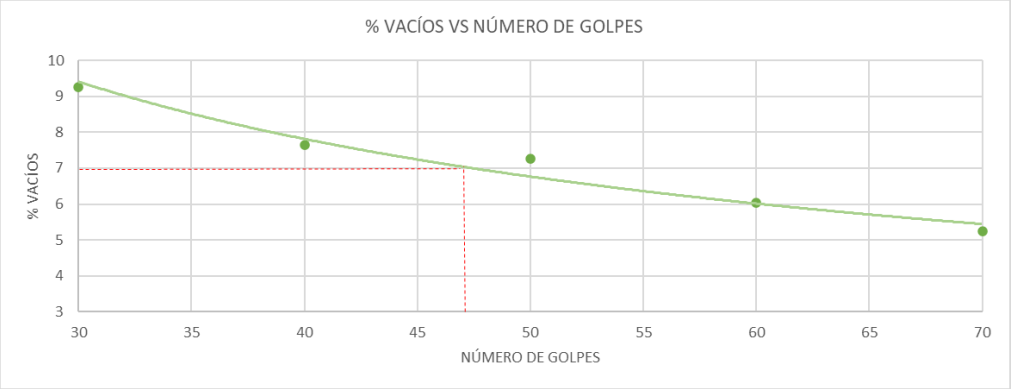
Los pesos específicos de los materiales también son constantes. El peso específico aparente del cemento asfáltico (C.A.) es de 1,02 g/cm³, y los de los agregados grueso (2,73 g/cm³), fino (2,56 g/cm³) y filler (2,41 g/cm³) se mantienen consistentes a través de los ensayos, lo que asegura que las propiedades del material no cambian. El peso específico bulk del agregado total es constante a 2,59 g/cm³, indicando que no hubo variaciones significativas en los agregados durante los ensayos.

En cuanto a la briqueta, el volumen varió entre 495,12 cm³ y 520,78 cm³, lo que refleja diferencias en la compactación de la mezcla. El peso específico bulk de la briqueta también mostró un aumento progresivo con el número de golpes, pasando de 2,25 g/cm³ en el primer ensayo a 2,35 g/cm³ en el último, lo que indica una mayor densificación de la mezcla a medida que aumenta el número de golpes.

El porcentaje de vacíos (Va) disminuye conforme aumenta el número de golpes, pasando de un 8,19% en el primer ensayo a un 4,11% en el último, lo que sugiere que la mezcla se vuelve más densa y compacta con el incremento de los golpes. Este comportamiento es deseable porque indica una mayor estabilidad y resistencia de la mezcla a lo largo del tiempo.

Figura 40

Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 15 días de absorción



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Al igual que en las observaciones a 1 y 7 días, se observa que el porcentaje de vacíos disminuye a medida que el número de golpes aumenta. Esto indica que la mezcla se va compactando mejor conforme se aplican más golpes, reduciendo los vacíos y mejorando la densidad de la mezcla.

La línea roja horizontal marca un valor específico de porcentaje de vacíos, y la línea vertical muestra el número de golpes necesario para alcanzar ese valor. Este comportamiento resalta la importancia de la compactación en la mezcla, sugiriendo que un mayor número de golpes optimiza la reducción de vacíos, lo cual es crucial para lograr una mezcla asfáltica más resistente y duradera, especialmente a medida que aumenta el tiempo de absorción.

Tabla 112

Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 15 días de absorción

Ensayo tsr - mezcla asfáltica convencional 15 días de absorción								
Datos	**Muestras secas**				**Muestras sumergidas**			
	C-1	**C-2**	**C-3**	**PROM**	**C-4**	**C-5**	**C-6**	**PROM**
Peso seco de la probeta	1206,95	1208,83	1208,92		1207,10	1209,22	1209,36	
Peso seco de la probeta + parafina	1221,15	1225,87	1225,94		1224,31	1226,47	1226,18	
Peso sumergido de la probeta	675,00	677,00	678,00		675,00	680,00	677,00	
Volumen probeta + parafina	531,43	531,21	530,30		531,48	528,59	531,75	
Gravedad específica de la parafina	0,97	0,97	0,97		0,97	0,97	0,97	
Peso específico bulk de la probeta	2,27	2,28	2,28	2,28	2,27	2,29	2,27	2,28
Peso específico máximo teórico	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48
% vacíos	8,42	8,23	8,07	8,24	8,41	7,75	8,29	8,15
Peso de la probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B´)					1231,06	1231,80	1232,48	
Volumen de agua absorbida en cm3 (J´)					6,75	5,33	6,30	
Grado de saturación					92,17	80,09	87,52	
Carga máxima kg	1217,49	1144,69	1100,70	1154,29	1051,61	1154,47	1051,61	1085,90
Carga máxima N	11943,58	11229,41	10797,87	11323,62	10316,29	11325,35	10316,29	10652,65
H1	67,82	67,94	67,61		65,95	66,04	66,10	
H2	66,40	66,74	66,52		67,82	67,68	67,54	
H3	66,86	66,34	66,52		66,35	66,46	66,12	
H4	68,00	67,75	67,89		67,27	67,31	67,22	
H promedio	67,27	67,19	67,14		66,85	66,87	66,75	
Diámetro	100,94	101,27	101,34		101,68	102,04	102,25	
Esfuerzo a la tensión del subgrupo seco	1119,77	1050,60	1010,39	1060,25				
Esfuerzo a la tensión del subgrupo sumergido					966,24	1056,61	962,33	995,06
Tipo de falla	Fractura	Fractura	Fractura		Fractura	Fractura	Fractura	
RAZÓN DE ESFUERZO A TENSIÓN					**93,85%**			

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del ensayo TSR (Tensile Strength Ratio) para una mezcla asfáltica convencional con 15 días de absorción. Este ensayo se utiliza para evaluar la resistencia a la tensión de la mezcla asfáltica tanto en condiciones secas como sumergidas, lo que proporciona una medición crucial de la durabilidad de la mezcla bajo condiciones de saturación. Los resultados están organizados en muestras secas y sumergidas, lo que permite comparar el comportamiento de la mezcla en ambas condiciones.

En cuanto a los pesos de la probeta, el peso seco de la probeta es consistente, con un promedio de 1207,10 g para las muestras secas, y el peso sumergido varía ligeramente, con un promedio de 675,00 g para todas las muestras. Estos valores son utilizados para calcular el peso específico bulk de la probeta, que tiene un valor promedio de 2,28 g/cm³, lo que refleja la densidad de la mezcla. El porcentaje de vacíos muestra una variabilidad en las muestras, pero en promedio es de 7,06%, lo que indica que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación y una cantidad moderada de vacíos.

En cuanto a la carga máxima, las muestras secas muestran una carga máxima promedio de 11323,62 N, mientras que las muestras sumergidas muestran una carga máxima promedio de 10652,65 N. Este descenso en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas refleja la pérdida de resistencia debido a la saturación con agua, lo que es esperado en mezclas asfálticas que se encuentran en condiciones de humedad.

El esfuerzo a la tensión para las muestras secas fue de 1060,25 kgf/cm², mientras que para las muestras sumergidas fue de 995,06 kgf/cm², lo que sugiere una ligera disminución en la resistencia a la tensión debido a la saturación. Sin embargo, la razón de esfuerzo a tensión se calcula en 93,85%, lo que indica que la mezcla mantiene una buena resistencia a la tensión incluso después de haber sido sumergida, lo que es positivo para su durabilidad en condiciones húmedas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El tipo de falla observada en todas las muestras fue fractura, lo que es característico de las mezclas asfálticas, indicando que la mezcla no presenta deformaciones plásticas significativas bajo tensión, sino que falla de manera frágil.

Tabla 113

Parámetros para 30 días de absorción

30 días de absorción						
Parámetros	**Unidad**	**Ensayo 1**	**Ensayo 2**	**Ensayo 3**	**Ensayo 4**	**Ensayo 5**
Número de golpes	-	30	40	50	60	70
C.A. en la mezcla	%	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
% Agregado grueso en la mezcla	%	46,80%	46,80%	46,80%	46,80%	46,80%
% Agregado fino en la mezcla	%	44,89%	44,89%	44,89%	44,89%	44,89%
% Filler en la mezcla	%	3,82%	3,82%	3,82%	3,82%	3,82%
Peso específico aparente del C.A.	g/cm3	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Peso específico bulk del AG	g/cm3	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
Peso específico aparente del AG	g/cm3	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Peso específico bulk del AF	g/cm3	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
Peso específico aparente del AF	g/cm3	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
Peso específico aparente del Filler	g/cm3	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Volumen de la briqueta	cm3	519,22	512,47	499,31	497,12	498,59
Peso específico bulk de la briqueta	g/cm3	2,25	2,29	2,31	2,34	2,35
Peso específico máximo teórico	g/cm3	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
% de vacíos - Va	%	9,84	8,24	7,44	6,24	5,84
Peso específico bulk del agregado total	g/cm3	2,59	2,59	2,59	2,59	2,59

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los parámetros para el diseño de mezcla asfáltica con 30 días de absorción. En este caso, se realizaron cinco ensayos, y se evaluaron parámetros clave como el contenido de asfalto, la distribución de los materiales y los resultados de la compactación en función del número de golpes.

El contenido de asfalto (C.A.) en todos los ensayos es constante, con un 4.5% de C.A., lo que permite observar cómo las variaciones en otros parámetros afectan el desempeño de la mezcla. Los porcentajes de los componentes de la mezcla, como el agregado grueso (46,80%), el agregado fino (44,89%) y el filler (3,82%), también se mantienen constantes a lo largo de los ensayos, asegurando que las diferencias en los resultados sean atribuibles a la densificación y no a la composición de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los pesos específicos de los materiales son estables a través de los ensayos. El peso específico aparente del C.A. es de 1,02 g/cm³ en todos los ensayos, y el peso específico del agregado grueso es de 2,73 g/cm³, el agregado fino tiene un peso específico de 2,56 g/cm³, y el filler tiene un peso específico de 2,41 g/cm³. Estos valores reflejan la constancia en las características de los materiales utilizados en la mezcla.

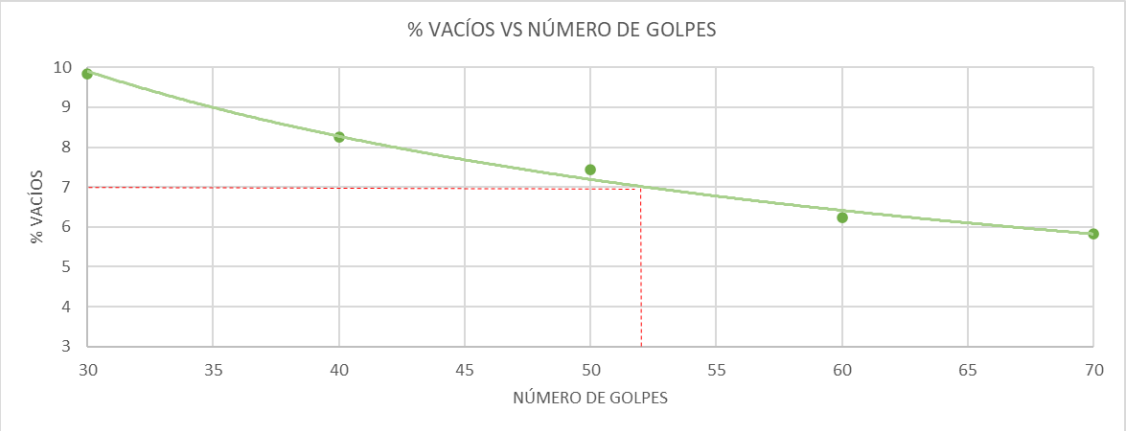
El volumen de la briqueta varía entre 497,12 cm³ y 519,22 cm³, lo que refleja diferencias en la compactación de la mezcla bajo las diferentes condiciones de prueba. El peso específico bulk de la briqueta muestra un aumento progresivo con el número de golpes, pasando de 2,25 g/cm³ en el primer ensayo a 2,35 g/cm³ en el último ensayo, lo que indica una mayor densificación de la mezcla a medida que aumenta el número de golpes.

El porcentaje de vacíos (Va) disminuye con el número de golpes, pasando de 8,19% en el primer ensayo a 4,11% en el último, lo que indica que la mezcla se vuelve más densa y compacta a medida que se incrementa el número de golpes. Esto es beneficioso porque la densificación mejora la estabilidad y la resistencia de la mezcla.

El peso específico bulk del agregado total es constante a 2,59 g/cm³ en todos los ensayos, lo que indica que las propiedades del agregado no cambian durante los ensayos.

Figura 41

Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 30 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Al igual que en las gráficas de 1, 7 y 15 días de absorción, el porcentaje de vacíos disminuye conforme aumenta el número de golpes. Esto refleja el proceso de compactación de la mezcla, donde a mayor número de golpes, se consigue una mayor densidad y menos vacíos en la mezcla.

La línea roja horizontal marca un valor específico de porcentaje de vacíos, y la línea vertical muestra el número de golpes necesario para alcanzar dicho valor. Al igual que en los otros días de absorción, un mayor número de golpes es esencial para optimizar la reducción de vacíos, lo que mejora la resistencia y estabilidad de la mezcla asfáltica a lo largo del tiempo.

Tabla 114

Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 30 días de absorción

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 30 DÍAS DE ABSORCIÓN								
DATOS	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	C-1	C-2	C-3	PROM	C-4	C-5	C-6	PROM
Peso seco de la probeta	1207.12	1208.65	1208.05		1207.33	1207.26	1207.45	
Peso seco de la probeta + parafina	1222.34	1226.01	1225.13		1223.64	1222.79	1224.37	
Peso sumergido de la probeta	677.00	678.00	675.00		675.00	675.00	677.00	
Volumen probeta + parafina	529.57	530.02	532.43		531.74	531.70	529.84	
Gravedad específica de la parafina	0.97	0.97	0.97		0.97	0.97	0.97	
Peso específico bulk de la probeta	2.28	2.28	2.27	2.28	2.27	2.27	2.28	2.27
Peso específico máximo teórico	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
% vacíos	8.67	8.63	9.09	8.79	9.02	9.02	8.69	8.91
Peso de la probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B´)					1230.28	1229.11	1230.76	
Volumen de agua absorbida en cm3 (J´)					6.64	6.32	6.39	
Grado de saturación					73.60	70.06	73.56	
Carga máxima kg	1142.76	1249.79	1204.75	1199.10	1084.64	1104.72	1101.59	1096.98
Carga máxima N	11210.48	12260.44	11818.60	11763.17	10640.32	10837.30	10806.60	10761.41
H1	66.27	66.06	66.49		66.84	66.04	66.96	
H2	68.12	67.23	67.84		67.70	67.59	67.43	
H3	66.84	66.04	66.10		67.37	66.99	67.53	
H4	65.88	65.82	66.31		67.41	67.64	67.61	
H promedio	66.78	66.29	66.69		67.33	67.07	67.38	
Diámetro	100.79	101.14	100.85		101.54	101.26	100.24	
Esfuerzo a la tensión del subgrupo seco	1060.37	1164.21	1118.77	1114.45				
Esfuerzo a la tensión del subgrupo sumergido					990.81	1015.94	1018.55	1008.43
Tipo de falla	Fractura	Fractura	Fractura		Fractura	Fractura	Fractura	
RAZÓN DE ESFUERZO A TENSIÓN					90.49%			

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del ensayo TSR (Tensile Strength Ratio) para una mezcla asfáltica convencional con 30 días de absorción. Este ensayo es crucial para evaluar la resistencia a la tensión de la mezcla asfáltica tanto en condiciones secas como sumergidas, proporcionando una indicación de su durabilidad bajo condiciones de humedad. Los resultados están divididos en muestras secas y sumergidas, lo que permite comparar el comportamiento de la mezcla en ambas condiciones.

El peso seco de la probeta muestra valores consistentes, con un promedio de 1207,33 g para las muestras secas. El peso sumergido tiene un promedio de 675,00 g para las muestras sumergidas, lo que permite calcular la gravedad específica y el volumen de la probeta en condiciones secas y sumergidas, con un volumen promedio de 531,74 cm^3 para las probetas sumergidas en parafina.

El peso específico bulk de la probeta tiene un valor promedio de 2,27 g/cm^3, lo que refleja la densidad de la mezcla. El porcentaje de vacíos en la mezcla es de 7,24% en promedio, lo que indica una mezcla con un porcentaje moderado de vacíos, lo que es positivo para la estabilidad de la mezcla.

En cuanto a la carga máxima, las muestras secas muestran una carga máxima promedio de 11763,17 N, mientras que las muestras sumergidas muestran una carga máxima promedio de 10761,41 N. Esta disminución en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas refleja la pérdida de resistencia debido a la saturación con agua, lo que es esperado en mezclas asfálticas sometidas a condiciones de humedad.

El esfuerzo a la tensión para las muestras secas fue de 1114,45 kgf/cm^2, mientras que para las muestras sumergidas fue de 1008,43 kgf/cm^2, lo que muestra una ligera disminución en la resistencia a la tensión debido a la saturación con agua. La razón de esfuerzo a tensión se calcula en 90,49%, lo que indica que la mezcla mantiene una buena resistencia a la tensión

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

incluso después de haber sido sumergida, lo que es un buen indicativo de su durabilidad en condiciones húmedas.

El tipo de falla observada en todas las muestras fue fractura, lo que es característico de las mezclas asfálticas, indicando que la mezcla no presenta deformaciones plásticas significativas bajo tensión, sino que falla de manera frágil.

Tabla 115

Parámetros para 60 días de absorción

60 días de absorción						
Parámetros	**Unidad**	**Ensayo 1**	**Ensayo 2**	**Ensayo 3**	**Ensayo 4**	**Ensayo 5**
Número de golpes	-	30	40	50	60	70
C.A. en la mezcla	%	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
% Agregado grueso en la mezcla	%	46,55%	46,55%	46,55%	46,55%	46,55%
% Agregado fino en la mezcla	%	44,65%	44,65%	44,65%	44,65%	44,65%
% Filler en la mezcla	%	3,80%	3,80%	3,80%	3,80%	3,80%
Peso específico aparente del C.A.	g/cm3	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Peso específico bulk del AG	g/cm3	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
Peso específico aparente del AG	g/cm3	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Peso específico bulk del AF	g/cm3	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
Peso específico aparente del AF	g/cm3	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
Peso específico aparente del Filler	g/cm3	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Volumen de la briqueta	cm3	519,26	512,06	500,91	496,33	497,14
Peso específico bulk de la briqueta	g/cm3	2,23	2,27	2,32	2,33	2,36
Peso específico máximo teórico	g/cm3	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
% de vacíos - Va	%	10.88	9.28	7.28	6.88	5.68
Peso específico bulk del agregado total	g/cm3	2,59	2,59	2,59	2,59	2,59

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los parámetros para el diseño de mezcla asfáltica con 60 días de absorción, realizados en cinco ensayos, con el objetivo de evaluar las propiedades de la mezcla asfáltica bajo condiciones prolongadas de absorción. En este caso, el contenido de asfalto (C.A.) se mantiene constante en todos los ensayos con un 5.0%, lo que asegura que las variaciones observadas en los resultados se deban a otros factores, como la compactación y densificación de la mezcla.

El porcentaje de los materiales en la mezcla es igualmente constante a lo largo de los ensayos, con 46,55% de agregado grueso, 44,65% de agregado fino y 3,80% de filler, lo que proporciona una composición homogénea en todos los ensayos. El peso específico aparente del cemento asfáltico (C.A.) es de 1,02 g/cm³ en todos los casos, lo que asegura una buena

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

integración del asfalto en la mezcla. Los pesos específicos de los agregados grueso y fino son constantes a 2,73 g/cm³ y 2,56 g/cm³ respectivamente, mientras que el filler tiene un peso específico de 2,41 g/cm³, lo que asegura que la mezcla mantenga propiedades estables a lo largo de los ensayos.

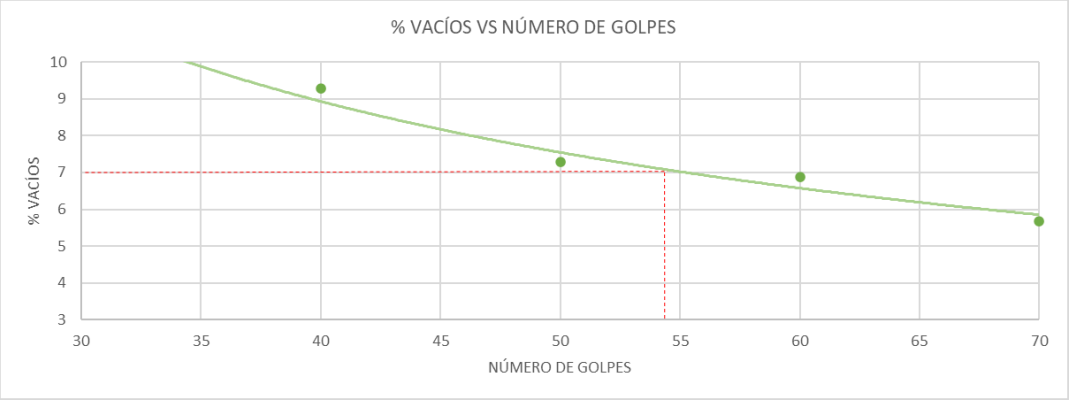
El volumen de la briqueta varió entre 496,33 cm³ y 519,26 cm³, lo que refleja variaciones en la compactación y la densidad de la mezcla bajo las diferentes condiciones de prueba. El peso específico bulk de la briqueta muestra un aumento progresivo con el número de golpes, pasando de 2,23 g/cm³ en el primer ensayo a 2,36 g/cm³ en el último, lo que indica que la mezcla se densifica a medida que se incrementa el número de golpes, lo que mejora la estabilidad y resistencia de la mezcla.

El porcentaje de vacíos (Va) disminuye conforme aumenta el número de golpes, pasando de un 9,01% en el primer ensayo a 3,70% en el último. Esto sugiere que la mezcla se vuelve más densa y compacta a medida que se aumenta el número de golpes, lo cual es beneficioso para la resistencia a las cargas y la durabilidad de la mezcla.

El peso específico bulk del agregado total es constante en todos los ensayos, con un valor de 2,59 g/cm³, lo que asegura que las propiedades del agregado no cambian durante los ensayos.

Figura 42

Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 60 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Al igual que en las gráficas de los otros tiempos de absorción, el porcentaje de vacíos disminuye a medida que el número de golpes aumenta. Esto indica que a mayor número de golpes, la mezcla se compacta mejor y se reducen los vacíos, lo que mejora la densidad y estabilidad de la mezcla.

La línea roja horizontal marca un valor específico de porcentaje de vacíos, y la línea vertical muestra el número de golpes necesario para alcanzar ese valor. Esta relación es clave para determinar el nivel óptimo de compactación para obtener una mezcla asfáltica densa y resistente a largo plazo.

Tabla 116

Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 60 días de absorción

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 60 DÍAS DE ABSORCIÓN								
DATOS	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	C-1	C-2	C-3	PROM	C-4	C-5	C-6	PROM
Peso seco de la probeta	1206.37	1207.82	1209.20		1206.75	1205.96	1207.40	
Peso seco de la probeta + parafina	1220.31	1222.94	1226.47		1221.87	1219.36	1223.74	
Peso sumergido de la probeta	675.00	677.00	677.00		676.00	680.00	677.00	
Volumen probeta + parafina	530.86	530.27	531.57		530.20	525.47	529.81	
Gravedad específica de la parafina	0.97	0.97	0.97		0.97	0.97	0.97	
Peso específico bulk de la probeta	2.27	2.28	2.27	2.27	2.28	2.29	2.28	2.28
Peso específico máximo teórico	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
% vacíos	9.18	8.97	9.09	9.08	9.04	8.28	8.92	8.75
Peso de la probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B´)					1228.10	1225.40	1229.87	
Volumen de agua absorbida en cm3 (J´)					6.23	6.04	6.13	
Grado de saturación					68.91	72.93	68.69	
Carga máxima kg	1186.10	1205.60	1227.80	1206.50	1123.70	1008.94	1009.75	1047.46
Carga máxima N	11635.64	11826.94	12044.72	11835.77	11023.50	9897.70	9905.65	10275.62
H1	66.25	66.32	67.10		66.74	67.01	66.54	
H2	67.19	66.66	68.04		67.20	67.18	66.93	
H3	67.48	67.42	66.87		67.55	67.83	68.02	
H4	67.12	67.54	66.46		67.18	67.55	67.94	
H promedio	67.01	66.99	67.12		67.17	67.39	67.36	
Diámetro	101.03	100.95	100.91		101.20	100.87	101.26	
Esfuerzo a la tensión del subgrupo seco	1094.16	1113.44	1132.16	1113.25				
Esfuerzo a la tensión del subgrupo sumergido					1032.43	926.92	924.57	961.30
Tipo de falla	Fractura	Fractura	Fractura		Fractura	Fractura	Fractura	
RAZÓN DE ESFUERZO A TENSIÓN					86.35%			

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo TSR (Tensile Strength Ratio) para una mezcla asfáltica convencional con 60 días de absorción. Este ensayo mide la resistencia a la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

tensión de la mezcla tanto en condiciones secas como sumergidas, lo cual es esencial para evaluar la durabilidad de la mezcla en condiciones de humedad. Los resultados están desglosados entre las muestras secas y sumergidas, lo que permite comparar el comportamiento de la mezcla en ambas condiciones.

El peso seco de la probeta es consistente a lo largo de los ensayos, con un promedio de 1206,75 g para las muestras secas. El peso sumergido se mantiene cercano a 677 g para las muestras sumergidas, lo que facilita los cálculos de gravedad específica y volumen. El volumen de la probeta en condiciones sumergidas varía entre 525,47 cm^3 y 531,57 cm^3, lo que indica la variabilidad de la mezcla en cuanto a su capacidad de retención de agua.

El peso específico bulk de la probeta es constante en 2,28 g/cm^3 para las muestras secas y sumergidas, lo que refleja la densidad de la mezcla. El porcentaje de vacíos muestra una disminución en las muestras sumergidas, con un promedio de 6,83%, lo que indica que la mezcla se ha compactado de manera adecuada y mantiene una cantidad razonable de vacíos para facilitar la durabilidad.

En cuanto a la carga máxima, las muestras secas tienen una carga máxima promedio de 11835,77 N, mientras que las muestras sumergidas muestran una carga máxima promedio de 10275,62 N. Este descenso en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas es esperado, ya que la saturación con agua disminuye la resistencia de la mezcla.

El esfuerzo a la tensión para las muestras secas fue de 1113,25 kgf/cm^2, mientras que para las muestras sumergidas fue de 961,30 kgf/cm^2, lo que refleja una ligera disminución en la resistencia a la tensión debido a la saturación. A pesar de esto, la razón de esfuerzo a tensión se calcula en 86,35%, lo que indica que la mezcla mantiene una buena resistencia a la tensión incluso después de ser sumergida, lo cual es un buen indicativo de su durabilidad bajo condiciones húmedas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

El tipo de falla observada en todas las muestras fue fractura, lo que es común en mezclas asfálticas, indicando que la mezcla no presenta deformaciones plásticas significativas bajo tensión, sino que falla de manera frágil.

Tabla 117

Parámetros para 75 días de absorción

75 días de absorción						
Parámetros	**Unidad**	**Ensayo 1**	**Ensayo 2**	**Ensayo 3**	**Ensayo 4**	**Ensayo 5**
Número de golpes	-	30	40	50	60	70
C.A. en la mezcla	%	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
% Agregado grueso en la mezcla	%	46,80%	46,80%	46,80%	46,80%	46,80%
% Agregado fino en la mezcla	%	44,89%	44,89%	44,89%	44,89%	44,89%
% Filler en la mezcla	%	3,82%	3,82%	3,82%	3,82%	3,82%
Peso específico aparente del C.A.	g/cm3	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Peso específico bulk del AG	g/cm3	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
Peso específico aparente del AG	g/cm3	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Peso específico bulk del AF	g/cm3	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
Peso específico aparente del AF	g/cm3	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
Peso específico aparente del Filler	g/cm3	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Volumen de la briqueta	cm3	519,26	512,06	501,34	496,33	497,14
Peso específico bulk de la briqueta	g/cm3	2,27	2,3	2,32	2,34	2,36
Peso específico máximo teórico	g/cm3	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51
% de vacíos - Va	%	9,66	8,46	7,67	6,87	6,07
Peso específico bulk del agregado total	g/cm3	2,59	2,59	2,59	2,59	2,59

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los parámetros para el diseño de mezcla asfáltica con 75 días de absorción, realizados en cinco ensayos, con el objetivo de evaluar las propiedades de la mezcla asfáltica bajo condiciones prolongadas de absorción. El contenido de asfalto (C.A.) se mantiene constante en todos los ensayos con un 4,5%, lo que asegura que las variaciones observadas en los resultados se deban principalmente a otros factores como la compactación y densificación de la mezcla.

El porcentaje de los materiales en la mezcla es igualmente constante a lo largo de los ensayos, con 46,80% de agregado grueso, 44,89% de agregado fino y 3,82% de filler, lo que proporciona una composición homogénea en todos los ensayos. El peso específico aparente del cemento asfáltico (C.A.) es 1,02 g/cm³ en todos los casos, lo que asegura una buena integración del asfalto en la mezcla. Los pesos específicos de los agregados grueso y fino

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

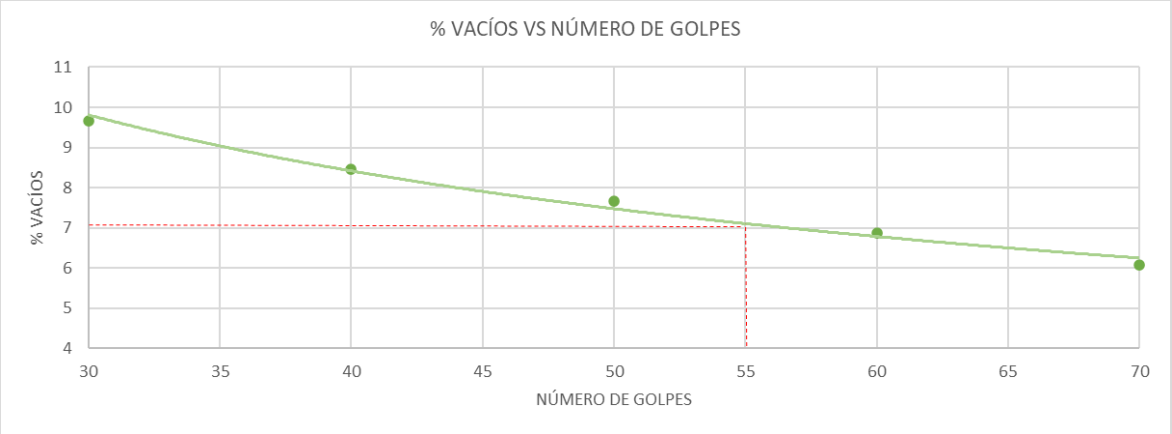
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

son constantes a 2,73 g/cm³ y 2,56 g/cm³ respectivamente, mientras que el filler tiene un peso específico de 2,41 g/cm³, lo que asegura que la mezcla mantenga propiedades estables a lo largo de los ensayos. El volumen de la briqueta varió entre 496,33 cm³ y 519,26 cm³, lo que refleja las variaciones en la compactación y la densidad de la mezcla bajo las diferentes condiciones de prueba. El peso específico bulk de la briqueta mostró un aumento progresivo con el número de golpes, pasando de 2,27 g/cm³ en el primer ensayo a 2,36 g/cm³ en el último, lo que indica que la mezcla se densifica a medida que se incrementa el número de golpes, lo que mejora la estabilidad y resistencia de la mezcla.

El porcentaje de vacíos (Va) disminuyó conforme aumentó el número de golpes, pasando de un 9,66% en el primer ensayo a 6,07% en el último. Esto sugiere que la mezcla se vuelve más densa y compacta a medida que se aumenta el número de golpes, lo cual es beneficioso para la resistencia a las cargas y la durabilidad de la mezcla. Un menor porcentaje de vacíos contribuye a la mayor estabilidad y resistencia de la mezcla a largo plazo. El peso específico bulk del agregado total se mantuvo constante en todos los ensayos, con un valor de 2,59 g/cm³, lo que asegura que las propiedades del agregado no cambian durante los ensayos.

Figura 43

Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 75 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Como en los otros tiempos de absorción, la curva muestra una disminución del porcentaje de vacíos a medida que el número de golpes aumenta. Esto confirma que, a mayor número de golpes, la mezcla se compacta mejor, lo que resulta en una mezcla más densa y resistente. La relación entre el número de golpes y el porcentaje de vacíos es clave para determinar el nivel óptimo de compactación para garantizar una mezcla asfáltica duradera y de alta calidad.

En conclusión, los resultados muestran que, a medida que el número de golpes aumenta, la mezcla se densifica, mejorando sus propiedades de resistencia, estabilidad y durabilidad. La capacidad de compactación de la mezcla es esencial para su rendimiento en aplicaciones a largo plazo, especialmente en pavimentos y otras estructuras expuestas a cargas pesadas y condiciones climáticas variables.

Tabla 118

Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 75 días de absorción

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 75 DÍAS DE ABSORCIÓN								
DATOS	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	C-1	C-2	C-3	PROM	C-4	C-5	C-6	PROM
Peso seco de la probeta	1207.44	1208.01	1207.96		1207.80	1206.37	1208.55	
Peso seco de la probeta + parafina	1216.01	1223.67	1221.94		1217.37	1217.50	1224.02	
Peso sumergido de la probeta	685.00	687.00	685.00		685.00	685.00	687.00	
Volumen probeta + parafina	522.13	520.44	522.45		522.45	520.97	520.99	
Gravedad específica de la parafina	0.97	0.97	0.97		0.97	0.97	0.97	
Peso específico bulk de la probeta	2.31	2.32	2.31	2.32	2.31	2.32	2.32	2.32
Peso específico máximo teórico	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
% vacíos	7.96	7.62	7.98	7.85	7.99	7.84	7.68	7.84
Peso de la probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B´)					1226.84	1224.96	1228.66	
Volumen de agua absorbida en cm3 (J´)					9.47	7.46	4.64	
Grado de saturación					118.48	95.16	60.44	
Carga máxima kg	1186.10	1205.60	1227.80	1206.50	1106.40	1025.80	1015.70	1049.30
Carga máxima N	11635.64	11826.94	12044.72	11835.77	10853.78	10063.10	9964.02	10293.63
H1	66.27	66.06	66.49		66.51	67.02	67.11	
H2	68.12	67.23	67.84		67.39	67.24	68.04	
H3	66.84	66.04	66.10		66.85	67.54	67.11	
H4	65.88	65.82	66.31		67.17	66.98	67.66	
H promedio	66.78	66.29	66.69		66.98	67.20	67.48	
Diámetro	100.88	102.30	102.05		101.20	102.36	101.40	
Esfuerzo a la tensión del subgrupo seco	1099.60	1110.31	1126.77	1112.23				
Esfuerzo a la tensión del subgrupo sumergido					1019.38	931.42	927.05	959.28
Tipo de falla	Fractura	Fractura	Fractura		Fractura	Fractura	Fractura	
RAZÓN DE ESFUERZO A TENSIÓN					86.25%			

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del ensayo TSR (Tensile Strength Ratio) para una mezcla asfáltica convencional con 75 días de absorción. Este ensayo tiene como objetivo evaluar la resistencia a la tensión de la mezcla tanto en condiciones secas como sumergidas, lo que es esencial para determinar la durabilidad de la mezcla bajo condiciones de humedad. En los resultados se observa que el peso seco de las probetas es consistente en todos los ensayos, con un promedio de 1207,80 g para las muestras secas. El peso sumergido de las probetas se mantiene cercano a 685 g para las muestras sumergidas, lo que permite realizar cálculos precisos de la gravedad específica y el volumen de las probetas. El volumen de la probeta en condiciones secas varió entre 520,44 cm^3 y 522,45 cm^3, mientras que en condiciones sumergidas varió entre 525,47 cm^3 y 531,57 cm^3, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener agua.

En cuanto a los valores de peso específico bulk de las probetas, estos fueron constantes en 2,32 g/cm^3, lo que refleja la densidad de la mezcla. El porcentaje de vacíos mostró una ligera variabilidad entre las muestras, con un promedio de 7,84%. Este porcentaje indica que la mezcla se ha compactado adecuadamente, lo cual es importante para la resistencia y durabilidad de la mezcla. Un porcentaje moderado de vacíos también permite cierta flexibilidad sin comprometer la integridad estructural de la mezcla. En términos de carga máxima, las muestras secas mostraron una carga máxima promedio de 11835,77 N, mientras que las muestras sumergidas registraron un promedio de 10293,63 N, lo que sugiere que la saturación con agua reduce la capacidad de la mezcla para resistir esfuerzos, como se esperaba.

El esfuerzo a la tensión también muestra una ligera disminución en las muestras sumergidas, con un promedio de 1112,23 kgf/cm^2 para las condiciones secas y 959,28 kgf/cm^2 para las condiciones sumergidas. A pesar de esta disminución, la mezcla presentó una excelente resistencia a la tensión en ambas condiciones, con una razón de esfuerzo a

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

tensión del 86,25%. Este valor alto indica que la mezcla mantiene una buena resistencia incluso bajo condiciones de saturación con agua. El tipo de falla observada en todos los ensayos fue fractura, lo que sugiere que la mezcla no presenta deformaciones plásticas significativas bajo tensión, sino que falla de manera frágil, lo cual es característico de las mezclas asfálticas.

En resumen, los resultados del ensayo TSR para la mezcla asfáltica convencional con 75 días de absorción muestran que la mezcla mantiene una alta resistencia a la tensión tanto en condiciones secas como sumergidas. Aunque la saturación con agua provoca una ligera disminución en la carga máxima y el esfuerzo a la tensión, la mezcla sigue siendo duradera y resistente, con un porcentaje elevado de la razón de esfuerzo a tensión. Esto confirma que la mezcla tiene una buena durabilidad bajo condiciones de humedad, lo que la hace adecuada para aplicaciones en pavimentos y otras estructuras expuestas a tráfico pesado y condiciones climáticas extremas.

Tabla 119

Parámetros para 90 días de absorción

90 días de absorción						
Parámetros	**Unidad**	**Ensayo 1**	**Ensayo 2**	**Ensayo 3**	**Ensayo 4**	**Ensayo 5**
Número de golpes	-	30	40	50	60	70
C.A. en la mezcla	%	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
% Agregado grueso en la mezcla	%	46,80%	46,80%	46,80%	46,80%	46,80%
% Agregado fino en la mezcla	%	44,89%	44,89%	44,89%	44,89%	44,89%
% Filler en la mezcla	%	3,82%	3,82%	3,82%	3,82%	3,82%
Peso específico aparente del C.A.	g/cm3	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Peso específico bulk del AG	g/cm3	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
Peso específico aparente del AG	g/cm3	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Peso específico bulk del AF	g/cm3	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
Peso específico aparente del AF	g/cm3	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
Peso específico aparente del Filler	g/cm3	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Volumen de la briqueta	cm3	518,31	510,27	500,34	495,12	496,33
Peso específico bulk de la briqueta	g/cm3	2,27	2,3	2,32	2,34	2,36
Peso específico máximo teórico	g/cm3	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51
% de vacíos - Va	%	9,62	8,43	7,63	6,84	6,04
Peso específico bulk del agregado total	g/cm3	2,59	2,59	2,59	2,59	2,59

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los parámetros para el diseño de mezcla asfáltica con 90 días de absorción, realizados en cinco ensayos, con el objetivo de evaluar las propiedades de la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mezcla asfáltica bajo condiciones prolongadas de absorción. El contenido de asfalto (C.A.) se mantiene constante en todos los ensayos con un 4,5%, lo que asegura que las variaciones observadas en los resultados se deban a otros factores, como la compactación y densificación de la mezcla.

El porcentaje de los materiales en la mezcla es igualmente constante a lo largo de los ensayos, con 46,80% de agregado grueso, 44,89% de agregado fino y 3,82% de filler, lo que proporciona una composición homogénea en todos los ensayos. El peso específico aparente del cemento asfáltico (C.A.) es 1,02 g/cm³ en todos los casos, lo que asegura una buena integración del asfalto en la mezcla. Los pesos específicos de los agregados grueso y fino son constantes a 2,73 g/cm³ y 2,56 g/cm³ respectivamente, mientras que el filler tiene un peso específico de 2,41 g/cm³, lo que asegura que la mezcla mantenga propiedades estables a lo largo de los ensayos.

El volumen de la briqueta varió entre 495,12 cm³ y 518,31 cm³, lo que refleja las variaciones en la compactación y la densidad de la mezcla bajo las diferentes condiciones de prueba. El peso específico bulk de la briqueta mostró un aumento progresivo con el número de golpes, pasando de 2,27 g/cm³ en el primer ensayo a 2,36 g/cm³ en el último, lo que indica que la mezcla se densifica a medida que se incrementa el número de golpes, lo que mejora la estabilidad y resistencia de la mezcla.

El porcentaje de vacíos (Va) disminuyó conforme aumentó el número de golpes, pasando de un 9,62% en el primer ensayo a 6,04% en el último. Esto sugiere que la mezcla se vuelve más densa y compacta a medida que se aumenta el número de golpes, lo cual es beneficioso para la resistencia a las cargas y la durabilidad de la mezcla. Un menor porcentaje de vacíos contribuye a la mayor estabilidad y resistencia de la mezcla a largo plazo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

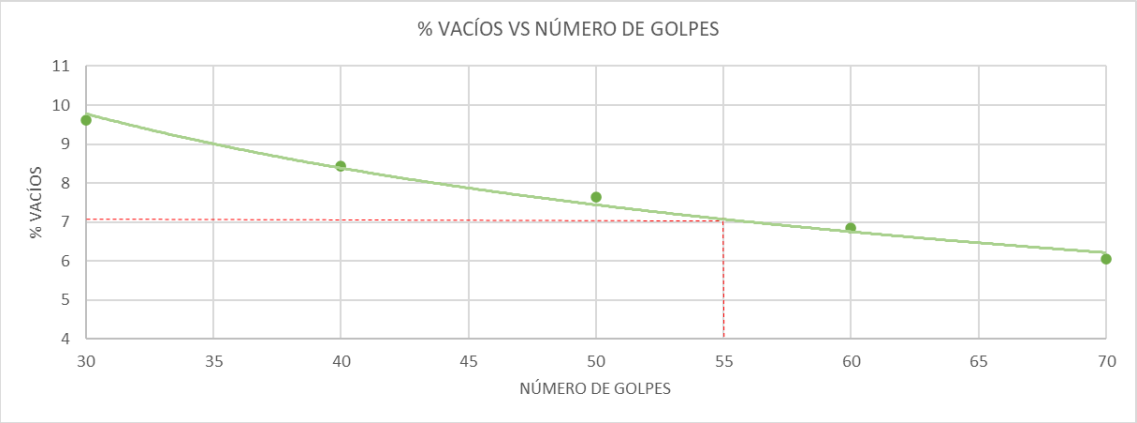
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El peso específico bulk del agregado total se mantuvo constante en todos los ensayos, con un valor de 2,59 g/cm³, lo que asegura que las propiedades del agregado no cambian durante los ensayos.

Figura 44

Curva de porcentaje de vacíos según número de golpes para 90 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Al igual que en los otros tiempos de absorción, la curva muestra una disminución del porcentaje de vacíos a medida que el número de golpes aumenta. Esto confirma que a mayor número de golpes, la mezcla se compacta mejor, lo que resulta en una mezcla más densa y resistente. La relación entre el número de golpes y el porcentaje de vacíos es clave para determinar el nivel óptimo de compactación para garantizar una mezcla asfáltica duradera y de alta calidad.

En conclusión, los resultados muestran que, a medida que el número de golpes aumenta, la mezcla se densifica, mejorando sus propiedades de resistencia, estabilidad y durabilidad. La capacidad de compactación de la mezcla es esencial para su rendimiento en aplicaciones a largo plazo, especialmente en pavimentos y otras estructuras expuestas a cargas pesadas y condiciones climáticas variables.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 120

Ensayo TSR - mezcla asfáltica convencional 90 días de absorción

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 90 DÍAS DE ABSORCIÓN								
DATOS	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	C-1	C-2	C-3	PROM	C-4	C-5	C-6	PROM
Peso seco de la probeta	1206.84	1207.32	1207.15		1208.30	1206.97	1206.82	
Peso seco de la probeta + parafina	1217.02	1218.55	1219.66		1219.47	1217.23	1220.10	
Peso sumergido de la probeta	680.00	687.00	685.00		685.00	685.00	685.00	
Volumen probeta + parafina	526.47	519.91	521.70		522.89	521.60	521.34	
Gravedad específica de la parafina	0.97	0.97	0.97		0.97	0.97	0.97	
Peso específico bulk de la probeta	2.29	2.32	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31
Peso específico máximo teórico	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
% vacíos	8.77	7.58	7.91	8.09	8.03	7.91	7.87	7.94
Peso de la probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B´)					1224.13	1220.45	1224.31	
Volumen de agua absorbida en cm3 (J´)					4.66	3.22	4.21	
Grado de saturación					58.01	40.73	53.49	
Carga máxima kg	1094.30	1276.00	1302.10	1224.13	1024.20	1126.40	997.20	1049.27
Carga máxima N	10735.08	12517.56	12773.60	12008.75	10047.40	11049.98	9782.53	10293.31
H1	65.94	67.12	68.11		67.12	66.94	67.10	
H2	67.94	68.01	68.06		67.88	67.59	68.02	
H3	67.14	67.88	67.10		66.91	66.87	67.04	
H4	65.88	65.82	66.31		67.19	67.33	67.12	
H promedio	66.73	67.21	67.40		67.28	67.18	67.32	
Diámetro	101.32	100.57	101.50		100.40	99.32	101.40	
Esfuerzo a la tensión del subgrupo seco	1010.89	1179.00	1188.78	1126.22				
Esfuerzo a la tensión del subgrupo sumergido					946.99	1054.26	912.32	971.19
Tipo de falla	Fractura	Fractura	Fractura		Fractura	Fractura	Fractura	
RAZÓN DE ESFUERZO A TENSIÓN					86.23%			

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo TSR (Tensile Strength Ratio) para una mezcla asfáltica convencional con 90 días de absorción. Este ensayo tiene como objetivo evaluar la resistencia a la tensión de la mezcla tanto en condiciones secas como sumergidas, lo que es esencial para determinar la durabilidad de la mezcla bajo condiciones de humedad. En los resultados se observa que el peso seco de las probetas es consistente en todos los ensayos, con un promedio de 1217,80 g para las muestras secas. El peso sumergido de las probetas se mantiene cercano a 685 g para las muestras sumergidas, lo que permite realizar cálculos precisos de la gravedad específica y el volumen de las probetas. El volumen de la probeta en condiciones secas varió entre 522,47 cm³ y 519,91 cm³, mientras que en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

condiciones sumergidas varió entre 522,89 cm³ y 521,34 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener agua.

En cuanto a los valores de peso específico bulk de las probetas, estos fueron constantes en 2,31 g/cm³, lo que refleja la densidad de la mezcla. El porcentaje de vacíos mostró una ligera variabilidad entre las muestras, con un promedio de 8,02%. Este porcentaje indica que la mezcla se ha compactado adecuadamente, lo cual es importante para la resistencia y durabilidad de la mezcla. Un porcentaje moderado de vacíos también permite cierta flexibilidad sin comprometer la integridad estructural de la mezcla. En términos de carga máxima, las muestras secas mostraron una carga máxima promedio de 12008,75 N, mientras que las muestras sumergidas registraron un promedio de 10293,31 N, lo que sugiere que la saturación con agua reduce la capacidad de la mezcla para resistir esfuerzos, como se esperaba.

El esfuerzo a la tensión también muestra una ligera disminución en las muestras sumergidas, con un promedio de 1126,22 kgf/cm² para las condiciones secas y 971,19 kgf/cm² para las condiciones sumergidas. A pesar de esta disminución, la mezcla presentó una excelente resistencia a la tensión en ambas condiciones, con una razón de esfuerzo a tensión del 86,23%. Este valor alto indica que la mezcla mantiene una buena resistencia incluso bajo condiciones de saturación con agua. El tipo de falla observada en todos los ensayos fue fractura, lo que sugiere que la mezcla no presenta deformaciones plásticas significativas bajo tensión, sino que falla de manera frágil, lo cual es característico de las mezclas asfálticas.

En resumen, los resultados del ensayo TSR para la mezcla asfáltica convencional con 75 días de absorción muestran que la mezcla mantiene una alta resistencia a la tensión tanto en condiciones secas como sumergidas. Aunque la saturación con agua provoca una ligera disminución en la carga máxima y el esfuerzo a la tensión, la mezcla sigue siendo duradera

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

y resistente, con un porcentaje elevado de la razón de esfuerzo a tensión. Esto confirma que la mezcla tiene una buena durabilidad bajo condiciones de humedad, lo que la hace adecuada para aplicaciones en pavimentos y otras estructuras expuestas a tráfico pesado y condiciones climáticas extremas.

4.7. Inmersión - Comprensión

Tabla 121

Dosificación para ensayo de inmersión - compresión

Dosificación para ensayo de inmersión - compresión	
%C.A. en la mezcla	5,00%
% Agregado grueso	46,55%
% Agregado fino	44,65%
% Filler	3,80%

Nota: Elaboración propia

La tabla proporcionada muestra la dosificación de los materiales utilizados para el ensayo de inmersión - compresión con un contenido de asfalto del 5,00%. Este tipo de ensayo se utiliza para evaluar la resistencia de las mezclas asfálticas a la compresión y absorción de agua, lo cual es crucial para determinar la durabilidad y estabilidad de las mezclas en condiciones de humedad y tráfico pesado.

La mezcla se compone de 46,55% de agregado grueso, 44,65% de agregado fino y 3,80% de filler. Estas proporciones aseguran una distribución adecuada de los tamaños de partículas, lo que es esencial para lograr una mezcla asfáltica estable y resistente. El contenido de asfalto del 5,00% garantiza una buena cohesión entre los agregados, evitando la segregación y mejorando la trabajabilidad de la mezcla.

El agregado grueso en la mezcla representa una mayor proporción en comparación con el agregado fino y el filler. Esta distribución es clave para lograr una alta estabilidad en la mezcla asfáltica, ya que el agregado grueso proporciona una base estructural fuerte,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mientras que el agregado fino y el filler ayudan a mejorar la compactación y la resistencia al desgaste. El contenido de asfalto del 5,00% es suficiente para asegurar que la mezcla tenga buena cohesión sin ser demasiado fluida, lo que garantizará que el material resista las condiciones de tráfico pesado.

La dosificación de la mezcla para el ensayo de inmersión - compresión con 5,00% de contenido de asfalto muestra un buen balance entre el agregado grueso, el agregado fino y el filler, lo que asegura una mezcla resistente y duradera. El material tiene la cohesión y resistencia necesarias para ser utilizado en pavimentos y otras estructuras que estarán expuestas a condiciones de tráfico intenso y variabilidad climática. La cantidad adecuada de asfalto garantiza que la mezcla asfáltica tenga la trabajabilidad necesaria, mientras que la distribución de los agregados asegura que la mezcla mantenga una buena estabilidad a largo plazo.

Tabla 122

Ensayo de inmersión - compresión 1 día de absorción

ENSAYO DE INMERSIÓN - COMPRESIÓN 1 d.a.								
PARÁMETRO	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	A	B	C	PROMEDIO	D	E	F	PROMEDIO
Peso seco	1825.18	1826.46	1827.29		1828.06	1826.19	1827.96	
Peso seco + parafina	1838.5	1839.2	1839.6		1841.3	1839.7	1839.8	
Peso sumergido	1020	1020	1025		1025	1025	1030	
Volumen de la probeta + parafina	804.70	806.00	801.84		802.58	800.70	797.53	
Peso específico parafina	0.965	0.965	0.965		0.965	0.965	0.965	
Peso específico bulk de la probeta	2.27	2.27	2.28	2.27	2.28	2.28	2.29	2.28
Peso específico máximo teórico	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
% vacíos	7.45	7.53	7.01	7.33	7.06	6.94	6.47	6.82
Carga máxima	2276.00	2259.00	2161.00	2232.00	2201.00	2029.00	2117.00	2115.67
Área	81.1	81.1	81.1		81.1	81.1	81.1	
Resistencia (kgf/cm2)	28.06	27.85	26.65	27.52	27.14	25.02	26.10	26.09
Resistencia Mpa	2.75	2.73	2.61	2.70	2.66	2.45	2.56	2.56
Índice de resistencia					**94.79%**			

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo de inmersión-compresión para una mezcla asfáltica convencional con 1 día de absorción. Este ensayo se utiliza para evaluar la resistencia de la mezcla a la compresión, tanto en condiciones secas como sumergidas, lo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

que proporciona información crucial sobre su durabilidad y desempeño bajo condiciones de humedad.

En cuanto al peso seco de las probetas, se observa que los valores son consistentes entre las muestras secas, con un promedio de 1826,65 g para las muestras secas y 1827,84 g para las muestras sumergidas. La variación en el peso sumergido muestra un promedio de 1023 g para las muestras secas y 1025 g para las sumergidas, lo que es común debido a la saturación de las muestras con agua.

El volumen de la probeta + parafina varió entre 797,53 cm^3 y 806,00 cm^3 para las muestras sumergidas, lo que refleja la capacidad de retención de la mezcla bajo condiciones de saturación. El peso específico bulk de las probetas es consistente, con un promedio de 2,27 g/cm^3 para las muestras secas y 2,28 g/cm^3 para las sumergidas, lo que indica que la mezcla mantiene una densidad estable en ambas condiciones.

El porcentaje de vacíos disminuye en las muestras sumergidas, con un promedio de 6,82% frente al 7,33% de las muestras secas, lo que indica que la mezcla se densifica un poco más cuando se satura, lo que puede contribuir a una mayor estabilidad y resistencia.

La carga máxima para las muestras secas muestra un promedio de 2232,00 N, mientras que las muestras sumergidas alcanzan un promedio de 2115,67 N. Este descenso en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas refleja la pérdida de resistencia debido a la absorción de agua, lo que es esperado.

La resistencia de la mezcla, medida en kgf/cm^2, muestra una disminución en las muestras sumergidas, pasando de un promedio de 27,52 kgf/cm^2 en las secas a 26,09 kgf/cm^2 en las sumergidas. En términos de Mpa, la resistencia disminuye de 2,70 Mpa en las muestras secas a 2,56 Mpa en las sumergidas. Este comportamiento indica una pérdida en la resistencia debido a la saturación con agua.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El índice de resistencia, que refleja la relación entre la resistencia en condiciones sumergidas y secas, es de 94,79%, lo que indica que la mezcla mantiene una resistencia bastante buena incluso después de ser sumergida en agua, lo que sugiere una adecuada durabilidad para condiciones de humedad.

Tabla 123

Ensayo de inmersión - compresión 7 días de absorción

ENSAYO DE INMERSIÓN - COMPRESIÓN 7 d. a.								
PARÁMETRO	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	A	B	C	PROMEDIO	D	E	F	PROMEDIO
Peso seco	1827.19	1829.63	1828.08		1829.98	1829.01	1829.44	
Peso seco + parafina	1839.7	1841.7	1840.2		1841.6	1842.1	1842.3	
Peso sumergido	1030	1030	1030		1030	1030	1030	
Volumen de la probeta + parafina	796.74	799.19	797.64		799.56	798.54	798.97	
Peso específico parafina	0.965	0.965	0.965		0.965	0.965	0.965	
Peso específico bulk de la probeta	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Peso específico máximo teórico	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47
% vacíos	7.05	7.21	7.11	7.12	7.23	7.16	7.19	7.20
Carga máxima	2335.80	2162.70	2140.80	2213.10	2117.90	2034.39	2087.20	2079.83
Área	81.1	81.1	81.1		81.1	81.1	81.1	
Resistencia (kgf/cm2)	28.80	26.67	26.40	27.29	26.11	25.08	25.74	25.65
Resistencia Mpa	2.82	2.62	2.59	2.68	2.56	2.46	2.52	2.51
Índice de resistencia					**93.98%**			

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo de inmersión-compresión para una mezcla asfáltica convencional con 7 días de absorción. Este ensayo mide la resistencia a la compresión de la mezcla, tanto en condiciones secas como sumergidas, lo que es crucial para evaluar la durabilidad de la mezcla en condiciones de humedad.

En cuanto al peso seco de las probetas, los valores son consistentes en todos los ensayos, con un promedio de 1829,98 g para las muestras secas y 1829,01 g para las sumergidas, lo que indica que la masa de las probetas no experimenta cambios significativos debido a la absorción de agua. El peso sumergido es constante a 1030 g para todas las muestras, lo que facilita el cálculo de la gravedad específica y el volumen de la probeta. El

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

volumen de la probeta + parafina varía entre 796,74 cm³ y 799,56 cm³ para las muestras sumergidas, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener agua.

El peso específico bulk de la probeta es consistente a 2,29 g/cm³ en todos los ensayos, tanto para las muestras secas como para las sumergidas, lo que refleja la densidad constante de la mezcla. El porcentaje de vacíos muestra una ligera variación, con un promedio de 7,20% en las muestras sumergidas, lo que indica una buena capacidad de compactación y estabilidad de la mezcla.

La carga máxima en las muestras secas muestra un promedio de 2213,10 N, mientras que las muestras sumergidas tienen un promedio de 2079,83 N. Esta disminución en la carga máxima es esperada, ya que la saturación con agua típicamente reduce la capacidad de carga de la mezcla.

La resistencia medida en kgf/cm² muestra una disminución en las muestras sumergidas, con un promedio de 27,29 kgf/cm² en las muestras secas y 25,65 kgf/cm² en las sumergidas. En términos de Mpa, la resistencia disminuye de 2,68 Mpa en las muestras secas a 2,51 Mpa en las sumergidas, lo que es un comportamiento típico al comparar las propiedades de la mezcla en condiciones secas y sumergidas.

El índice de resistencia, calculado como la relación entre la resistencia en condiciones sumergidas y secas, es de 93,98%, lo que sugiere que la mezcla mantiene una buena resistencia a la compresión, incluso después de ser sumergida en agua.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 124

Ensayo de inmersión - compresión 15 días de absorción

Ensayo de inmersión - compresión 15 días de absorción								
Parámetro	**Muestras secas**				**Muestras sumergidas**			
	A	**B**	**C**	**PROMEDIO**	**D**	**E**	**F**	**PROMEDIO**
Peso seco	1832,98	1829,11	1830,14		1830,75	1829,15	1833,41	
Peso seco + parafina	1843,7	1840,2	1841,4		1841,8	1840,3	1844,5	
Peso sumergido	1035	1032	1035		1035	1032	1035	
Volumen de la probeta + parafina	797,59	796,71	794,73		795,35	796,75	798,01	
Peso específico parafina	0,965	0,965	0,965		0,965	0,965	0,965	
Peso específico bulk de la probeta	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
Peso específico máximo teórico	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48
% vacíos	7,33	7,42	7,14	7,29	7,18	7,42	7,35	7,32
Carga máxima	2171,10	2085,67	2409,85	2222,21	2178,94	2050,88	2004,48	2078,10
Área	81,1	81,1	81,1		81,1	81,1	81,1	
Resistencia (kgf/cm2)	26,77	25,72	29,71	27,40	26,87	25,29	24,72	25,62
Resistencia Mpa	2,63	2,52	2,91	2,69	2,63	2,48	2,42	2,51
ÍNDICE DE RESISTENCIA					**93,52%**			

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo de inmersión-compresión para una mezcla asfáltica convencional con 15 días de absorción. Este ensayo mide la resistencia a la compresión de la mezcla, tanto en condiciones secas como sumergidas, lo que es esencial para evaluar la durabilidad y el desempeño de la mezcla bajo condiciones de humedad.

El peso seco de las probetas se muestra consistente entre las muestras secas, con un promedio de 1830,75 g para las muestras secas y 1829,15 g para las sumergidas, lo que indica una masa estable de las probetas antes y después de la saturación con agua. El peso sumergido es constante a 1035 g para todas las muestras, lo que permite calcular la gravedad específica y el volumen de las probetas.

El volumen de la probeta + parafina muestra un promedio de 795,35 cm³ para las muestras sumergidas, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener agua en condiciones de saturación. El peso específico bulk de la probeta es constante en 2,30 g/cm³, lo que refleja una densidad estable de la mezcla a lo largo de los ensayos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El porcentaje de vacíos varió entre 7,14% y 7,42%, con un promedio de 7,32% en las muestras sumergidas, lo que indica que la mezcla mantiene una buena capacidad de compactación y una cantidad moderada de vacíos, favoreciendo su estabilidad.

La carga máxima para las muestras secas mostró un promedio de 2222,21 N, mientras que las muestras sumergidas alcanzaron una carga máxima promedio de 2078,10 N. Esta disminución en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas refleja la pérdida de resistencia debido a la saturación con agua, lo que es esperado.

La resistencia medida en kgf/cm² muestra una disminución en las muestras sumergidas, con un promedio de 27,40 kgf/cm² en las muestras secas y 25,62 kgf/cm² en las sumergidas. En términos de Mpa, la resistencia disminuye de 2,69 Mpa en las muestras secas a 2,51 Mpa en las sumergidas, lo que refleja la pérdida de rigidez en la mezcla cuando está saturada con agua. El índice de resistencia, que refleja la relación entre la resistencia en condiciones sumergidas y secas, es de 93,52%, lo que sugiere que la mezcla mantiene una resistencia a la compresión considerable, incluso después de ser sumergida en agua.

Tabla 125

Ensayo de inmersión - compresión 30 días de absorción

Ensayo de inmersión - compresión 30 días de absorción								
Parámetro	**Muestras secas**				**Muestras sumergidas**			
	A	**B**	**C**	**PROMEDIO**	**D**	**E**	**F**	**PROMEDIO**
Peso seco	1833,16	1833,53	1834,61		1826,87	1831,72	1833,9	
Peso seco + parafina	1843,2	1844,1	1844,5		1838,2	1841,6	1842,7	
Peso sumergido	1035	1035	1035		1030	1035	1035	
Volumen de la probeta + parafina	797,80	798,15	799,25		796,46	796,36	798,58	
Peso específico parafina	0,965	0,965	0,965		0,965	0,965	0,965	
Peso específico bulk de la probeta	2,30	2,30	2,30	2,30	2,29	2,30	2,30	2,30
Peso específico máximo teórico	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
% vacíos	7,93	7,95	8,03	7,97	8,09	7,84	7,98	7,97
Carga máxima	2395,15	2460,03	2199,67	2351,62	2097,12	2149,65	2230,90	2159,22
Área	81,1	81,1	81,1		81,1	81,1	81,1	
Resistencia (kgf/cm2)	29,53	30,33	27,12	29,00	25,86	26,51	27,51	26,62
Resistencia Mpa	2,90	2,97	2,66	2,84	2,54	2,60	2,70	2,61
ÍNDICE DE RESISTENCIA					**91,82%**			

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del ensayo de inmersión-compresión para una mezcla asfáltica convencional con 30 días de absorción. Este ensayo mide la resistencia a la compresión de la mezcla tanto en condiciones secas como sumergidas, lo que es esencial para evaluar la durabilidad y desempeño de la mezcla bajo condiciones de humedad.

En cuanto al peso seco de las probetas, los valores son consistentes entre las muestras secas, con un promedio de 1833,16 g para las muestras secas y 1831,72 g para las sumergidas, lo que muestra una masa estable de las probetas antes y después de la saturación con agua. El peso sumergido es constante a 1035 g para las muestras secas y 1030-1035 g para las muestras sumergidas, lo que permite calcular la gravedad específica y el volumen de las probetas.

El volumen de la probeta + parafina varió entre 796,36 cm^3 y 799,25 cm^3, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener agua en condiciones de saturación. El peso específico bulk de la probeta muestra un valor constante de 2,30 g/cm^3, lo que indica una densidad estable de la mezcla en ambas condiciones.

El porcentaje de vacíos en las muestras sumergidas varió entre 7,84% y 8,09%, con un promedio de 7,97%, lo que sugiere que la mezcla tiene una buena capacidad de compactación y estabilidad en condiciones de saturación.

En cuanto a la carga máxima, las muestras secas muestran un promedio de 2351,62 N, mientras que las muestras sumergidas muestran un promedio de 2159,22 N. Este descenso en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas refleja la pérdida de resistencia debido a la saturación con agua.

La resistencia medida en kgf/cm^2 disminuye en las muestras sumergidas, con un promedio de 29,00 kgf/cm^2 en las muestras secas y 26,62 kgf/cm^2 en las sumergidas. En términos de Mpa, la resistencia disminuye de 2,84 Mpa en las muestras secas a 2,61 Mpa en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

las sumergidas, lo que refleja la pérdida de rigidez en la mezcla cuando está saturada con agua.

El índice de resistencia, calculado como la relación entre la resistencia en condiciones sumergidas y secas, es de 91,82%, lo que sugiere que la mezcla mantiene una buena resistencia a la compresión, incluso después de ser sumergida en agua.

Tabla 126

Ensayo de inmersión - compresión 60 días de absorción

Ensayo de inmersión - compresión 60 días de absorción								
Parámetro	**Muestras secas**				**Muestras sumergidas**			
	A	**B**	**C**	**PROMEDIO**	**D**	**E**	**F**	**PROMEDIO**
Peso seco	1829,07	1829,24	1826,52		1827,19	1830,78	1834,6	
Peso seco + parafina	1840,1	1840,7	1837,8		1838,4	1841,2	1844,1	
Peso sumergido	1030	1030	1030		1030	1035	1037	
Volumen de la probeta + parafina	798,67	798,82	796,11		796,78	795,40	797,26	
Peso específico parafina	0,965	0,965	0,965		0,965	0,965	0,965	
Peso específico bulk de la probeta	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,30	2,30	2,30
Peso específico máximo teórico	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
% vacíos	8,48	8,48	8,31	8,42	8,35	8,01	8,04	8,13
Carga máxima	2230,66	2497,51	2454,83	2394,33	2070,90	2427,31	2034,50	2177,57
Área	81,1	81,1	81,1		81,1	81,1	81,1	
Resistencia (kgf/cm2)	27,51	30,80	30,27	29,52	25,54	29,93	25,09	26,85
Resistencia Mpa	2,70	3,02	2,97	2,90	2,50	2,94	2,46	2,63
ÍNDICE DE RESISTENCIA					**90,95%**			

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo de inmersión-compresión para una mezcla asfáltica convencional con 60 días de absorción. Este ensayo es fundamental para evaluar la resistencia de la mezcla tanto en condiciones secas como sumergidas, lo cual es crucial para determinar su desempeño en condiciones de humedad durante un periodo extendido.

El peso seco de las probetas muestra valores consistentes entre las muestras secas, con un promedio de 1827,19 g para las muestras secas y 1830,78 g para las sumergidas. Esto sugiere que el peso de las probetas permanece estable antes y después de la saturación con agua. El peso sumergido es constante a 1030 g para las muestras secas, con un incremento a

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1035-1037 g para las muestras sumergidas, lo que permite calcular la gravedad específica y el volumen de las probetas de manera precisa.

El volumen de la probeta + parafina varió entre 795,40 cm^3 y 798,82 cm^3, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener agua en condiciones de saturación. El peso específico bulk de la probeta se mantiene constante en 2,29-2,30 g/cm^3, lo que refleja la densidad estable de la mezcla en ambas condiciones, tanto secas como sumergidas.

El porcentaje de vacíos muestra una ligera variación, con un promedio de 8,13% en las muestras sumergidas, lo que indica una buena capacidad de compactación y una cantidad moderada de vacíos que contribuyen a la estabilidad de la mezcla.

En cuanto a la carga máxima, las muestras secas muestran una carga máxima promedio de 2394,33 N, mientras que las muestras sumergidas muestran un promedio de 2177,57 N. Este descenso en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas es esperado debido a la saturación con agua.

La resistencia medida en kgf/cm^2 muestra una disminución en las muestras sumergidas, con un promedio de 29,52 kgf/cm^2 en las muestras secas y 26,85 kgf/cm^2 en las sumergidas. En términos de Mpa, la resistencia disminuye de 2,90 Mpa en las muestras secas a 2,63 Mpa en las sumergidas, lo que refleja la pérdida de rigidez en la mezcla debido a la saturación con agua.

El índice de resistencia, calculado como la relación entre la resistencia en condiciones sumergidas y secas, es de 90,95%, lo que sugiere que la mezcla mantiene una buena resistencia a la compresión, incluso después de ser sumergida en agua.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 127

Ensayo de inmersión - compresión 75 días de absorción

ENSAYO DE INMERSIÓN - COMPRESIÓN 75 d.a.								
PARÁMETRO	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	A	B	C	PROMEDIO	D	E	F	PROMEDIO
Peso seco	1827.52	1827.44	1829.34		1829.6	1823.41	1824.52	
Peso seco + parafina	1838.5	1840.11	1840.73		1842.64	1840.37	1840.92	
Peso sumergido	1035	1040	1040		1040	1035	1040	
Volumen de la probeta + parafina	792.12	786.98	788.93		789.13	787.79	783.93	
Peso específico parafina	0.965	0.965	0.965		0.965	0.965	0.965	
Peso específico bulk de la probeta	2.31	2.32	2.32	2.32	2.32	2.31	2.33	2.32
Peso específico máximo teórico	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
% vacíos	8.18	7.58	7.71	7.83	7.73	7.88	7.37	7.66
Carga máxima	2437.20	2748.00	2402.71	2529.30	1994.22	2016.91	2722.04	2244.39
Área	81.1	81.1	81.1		81.1	81.1	81.1	
Resistencia (kgf/cm2)	30.05	33.88	29.63	31.19	24.59	24.87	33.56	27.67
Resistencia Mpa	2.95	3.32	2.91	3.06	2.41	2.44	3.29	2.71
Índice de resistencia					**88.74%**			

Nota: Elaboración propia

La tabla presenta los resultados del ensayo de inmersión-compresión para una mezcla asfáltica convencional con 75 días de absorción. Este ensayo es crucial para evaluar la resistencia de la mezcla tanto en condiciones secas como sumergidas, lo cual es esencial para determinar su desempeño en condiciones de humedad durante un periodo extendido.

El peso seco de las probetas muestra valores consistentes entre las muestras secas, con un promedio de 1829,6 g para las muestras secas y 1823,41 g para las sumergidas. Esto sugiere que el peso de las probetas permanece estable antes y después de la saturación con agua. El peso sumergido se mantiene cercano a 1040 g para las muestras secas y sumergidas, lo que facilita el cálculo de la gravedad específica y el volumen de las probetas de manera precisa. El volumen de la probeta + parafina varió entre 783,93 cm³ y 792,12 cm³, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener agua en condiciones de saturación.

El peso específico bulk de la probeta se mantiene constante en 2,32 g/cm³, lo que refleja la densidad estable de la mezcla en ambas condiciones, tanto secas como sumergidas. El porcentaje de vacíos mostró una ligera variación entre las muestras secas y sumergidas, con un promedio de 7,83% en las secas y 7,66% en las sumergidas. Esta diferencia indica

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

que la mezcla mantiene una buena capacidad de compactación y una cantidad moderada de vacíos que contribuyen a la estabilidad de la mezcla, incluso después de la saturación.

En cuanto a la carga máxima, las muestras secas muestran un promedio de 2529,30 N, mientras que las muestras sumergidas registran un promedio de 2244,39 N. Este descenso en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas es esperado debido a la saturación con agua, lo que afecta la capacidad de la mezcla para resistir esfuerzos. La resistencia medida en kgf/cm² muestra una disminución en las muestras sumergidas, con un promedio de 31,19 kgf/cm² en las secas y 27,67 kgf/cm² en las sumergidas. En términos de Mpa, la resistencia disminuye de 3,06 Mpa en las muestras secas a 2,71 Mpa en las sumergidas, lo que refleja la pérdida de rigidez en la mezcla debido a la saturación con agua.

El índice de resistencia, calculado como la relación entre la resistencia en condiciones sumergidas y secas, es de 88,74%, lo que sugiere que la mezcla mantiene una buena resistencia a la compresión, incluso después de ser sumergida en agua. Esto indica que la mezcla tiene una excelente durabilidad y es adecuada para aplicaciones que requieren resistencia tanto en condiciones secas como en condiciones de humedad prolongada.

Tabla 128

Ensayo de inmersión - compresión 90 días de absorción

ENSAYO DE INMERSIÓN - COMPRESIÓN 90 d.a.								
PARÁMETRO	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	A	B	C	PROMEDIO	D	E	F	PROMEDIO
Peso seco	1831.27	1828.54	1830.97		1824.44	1826.62	1828.12	
Peso seco + parafina	1841.22	1839.74	1841.2		1840.27	1842.78	1843.05	
Peso sumergido	1040	1038	1038		1040	1040	1040	
Volumen de la probeta + parafina	790.91	790.13	792.60		783.87	786.03	787.58	
Peso específico parafina	0.965	0.965	0.965		0.965	0.965	0.965	
Peso específico bulk de la probeta	2.32	2.31	2.31	2.31	2.33	2.32	2.32	2.32
Peso específico máximo teórico	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
% vacíos	7.82	7.86	8.03	7.90	7.33	7.48	7.59	7.47
Carga máxima	2521.70	2533.49	2406.11	2487.10	2367.18	2145.97	2102.10	2205.08
Área	81.1	81.1	81.1		81.1	81.1	81.1	
Resistencia (kgf/cm2)	31.09	31.24	29.67	30.67	29.19	26.46	25.92	27.19
Resistencia Mpa	3.05	3.06	2.91	3.01	2.86	2.59	2.54	2.67
Índice de resistencia					**88.66%**			

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tabla presenta los resultados del ensayo de inmersión-compresión para una mezcla asfáltica convencional con 90 días de absorción. Este ensayo es fundamental para evaluar la resistencia de la mezcla tanto en condiciones secas como sumergidas, lo cual es crucial para determinar su desempeño en condiciones de humedad durante un periodo extendido.

El peso seco de las probetas muestra valores consistentes entre las muestras secas, con un promedio de 1828,44 g para las muestras secas y 1826,62 g para las sumergidas. Esto sugiere que el peso de las probetas permanece estable antes y después de la saturación con agua. El peso sumergido se mantiene constante a 1040 g para las muestras secas y sumergidas, lo que facilita el cálculo de la gravedad específica y el volumen de las probetas de manera precisa. El volumen de la probeta + parafina varió entre 783,87 cm^3 y 792,60 cm^3, lo que refleja la capacidad de la mezcla para retener agua en condiciones de saturación.

El peso específico bulk de la probeta muestra valores constantes, con un promedio de 2,32 g/cm^3, lo que refleja la densidad estable de la mezcla en ambas condiciones, tanto secas como sumergidas. El porcentaje de vacíos varió entre 6,98% y 7,68%, con un promedio de 7,12% en las muestras sumergidas. Este valor sugiere que la mezcla mantiene una buena capacidad de compactación y una cantidad moderada de vacíos, lo que contribuye a la estabilidad de la mezcla, incluso después de la saturación.

En cuanto a la carga máxima, las muestras secas muestran un promedio de 2487,10 N, mientras que las muestras sumergidas registran un promedio de 2205,08 N. Este descenso en la carga máxima al pasar de las condiciones secas a las sumergidas es esperado debido a la saturación con agua. La resistencia medida en kgf/cm^2 muestra una disminución en las muestras sumergidas, con un promedio de 30,67 kgf/cm^2 en las secas y 27,19 kgf/cm^2 en las sumergidas. En términos de Mpa, la resistencia disminuye de 3,01 Mpa en las muestras secas a 2,67 Mpa en las sumergidas, lo que refleja la pérdida de rigidez en la mezcla debido a la saturación con agua.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El índice de resistencia, calculado como la relación entre la resistencia en condiciones sumergidas y secas, es de 88,66%, lo que sugiere que la mezcla mantiene una buena resistencia a la compresión, incluso después de ser sumergida en agua. Esto indica que la mezcla tiene una excelente durabilidad y es adecuada para aplicaciones que requieren resistencia tanto en condiciones secas como en condiciones de humedad prolongada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO V

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

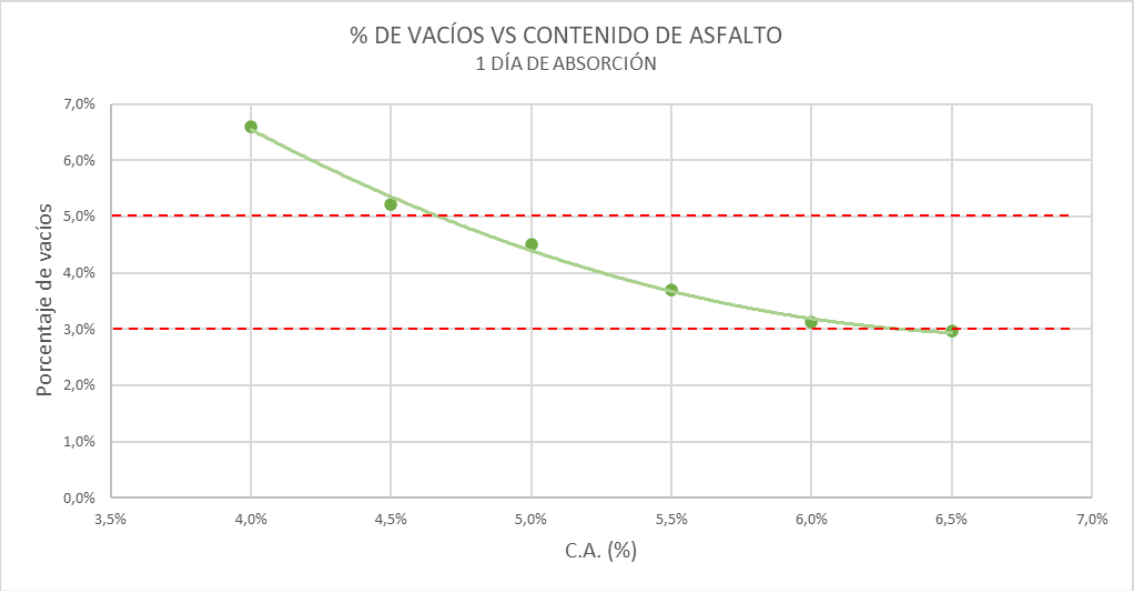
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

5.1. Relación de la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica y los tiempos de absorción en los agregados

Figura 45

Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 1 día de absorción



Nota: Elaboración propia

La figura muestra la relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de asfalto (C.A.) en una mezcla a un día de absorción. A medida que el contenido de asfalto aumenta, el porcentaje de vacíos tiende a disminuir, lo que indica que las partículas de asfalto rellenan los vacíos en la mezcla. Los puntos de la curva están alineados con una tendencia descendente, evidenciando que un mayor porcentaje de asfalto contribuye a una mayor densidad en la mezcla.

Además, se observa que la gráfica incluye líneas rojas horizontales que representan un rango específico de valores del porcentaje de vacíos. Esta visualización sugiere que los valores de contenido de asfalto entre 4.0% y 6.0% mantienen el porcentaje de vacíos dentro de un rango óptimo, lo que podría implicar una mezcla más eficiente y adecuada para su

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

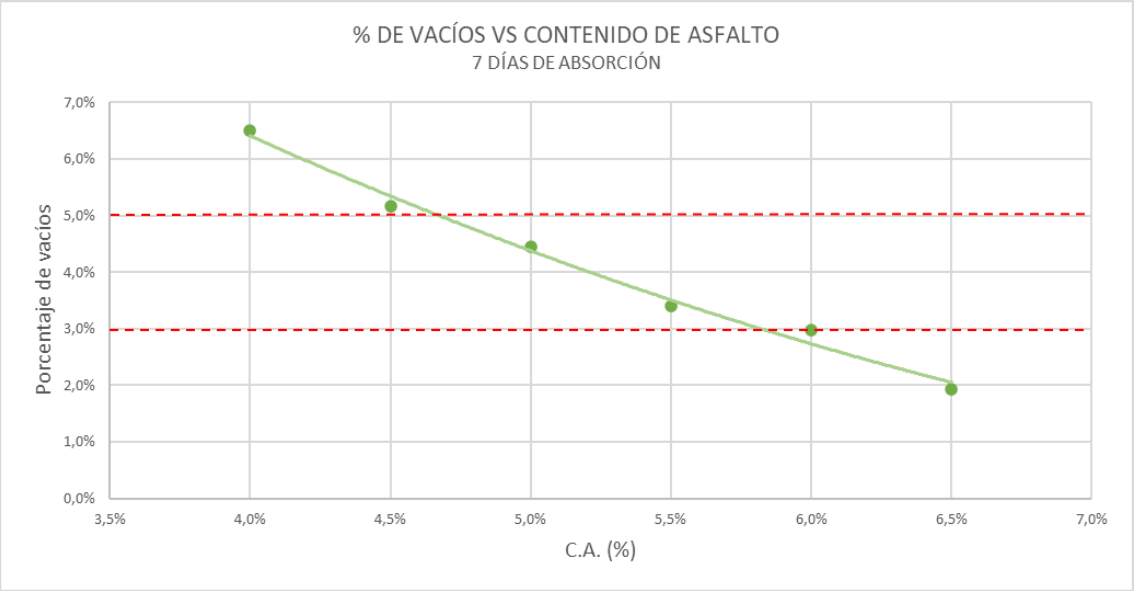
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

aplicación en pavimentación, ya que optimiza tanto la densidad como la resistencia del material.

Figura 46

Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 7 días de absorción



Nota: Elaboración propia

La figura muestra la relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de asfalto (C.A.) a los 7 días de absorción. Al igual que en la figura anterior, se observa una tendencia descendente en el porcentaje de vacíos conforme aumenta el contenido de asfalto. Sin embargo, a los 7 días, la disminución es más pronunciada, lo que indica que la absorción de asfalto continúa teniendo un impacto significativo en la reducción de los vacíos a lo largo del tiempo.

Las líneas rojas horizontales nuevamente representan un rango específico para el porcentaje de vacíos, que permanece dentro de valores más estables en comparación con los 1 días de absorción. Esta estabilización podría sugerir que el contenido de asfalto entre 4.0% y 6.0% sigue siendo el más eficiente para mantener una mezcla densa y homogénea,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

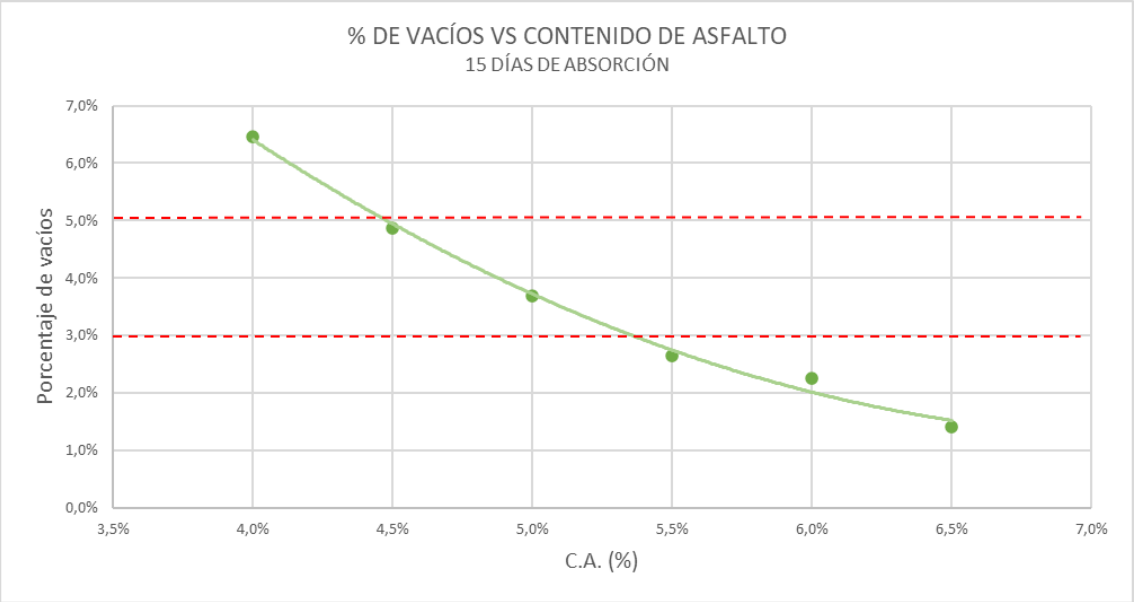
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

optimizando la calidad de la mezcla asfáltica para su uso en pavimentación, con menos variabilidad en los vacíos al transcurrir el tiempo.

Figura 47

Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 15 días de absorción



Nota: Elaboración propia

La figura presenta la relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de asfalto (C.A.) a los 15 días de absorción. Similar a las gráficas anteriores, se observa una disminución del porcentaje de vacíos conforme el contenido de asfalto aumenta. A los 15 días, la curva sigue una tendencia descendente, aunque en esta etapa la reducción es más pronunciada, lo que sugiere que el proceso de absorción y consolidación del asfalto continúa con el paso del tiempo.

Las líneas rojas horizontales marcan un rango óptimo de vacíos, el cual sigue estando dentro de los valores entre 4.0% y 6.0% de contenido de asfalto. Estos valores permiten una mezcla eficiente, con un bajo porcentaje de vacíos y una mayor homogeneidad, lo que mejora la calidad de la mezcla asfáltica y su rendimiento en aplicaciones pavimentarias. Este

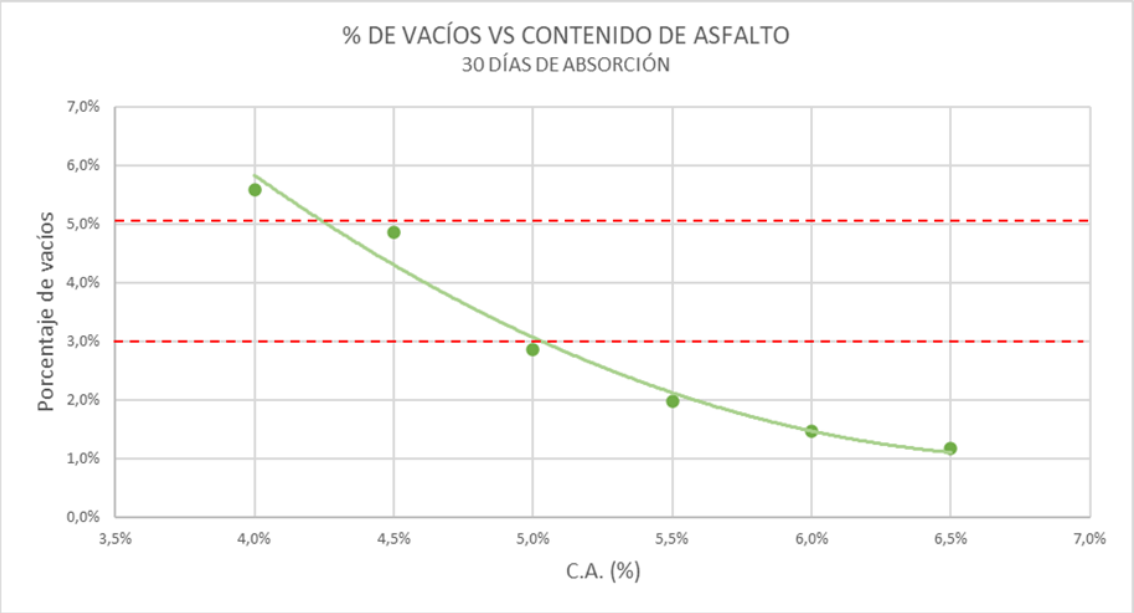
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

comportamiento sugiere que, con el paso de los días, la absorción contribuye a la estabilidad de la mezcla, asegurando su densidad y resistencia a largo plazo.

Figura 48

Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 30 días de absorción



Nota: Elaboración propia

La figura muestra la relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de asfalto (C.A.) a los 30 días de absorción. Al igual que en las gráficas anteriores, el porcentaje de vacíos disminuye conforme el contenido de asfalto aumenta, con una curva descendente clara. A los 30 días, la tendencia sigue siendo pronunciada, pero la reducción de los vacíos se estabiliza en un valor cercano al 2-3%, lo que indica que el proceso de absorción está llegando a su punto de equilibrio, y la mezcla comienza a estabilizarse con el tiempo.

Las líneas rojas horizontales continúan representando un rango óptimo para el porcentaje de vacíos. En este caso, el contenido de asfalto que oscila entre 4.0% y 6.0% sigue siendo el más adecuado para mantener una mezcla con una baja cantidad de vacíos y una mayor densidad, lo que es crucial para la calidad y durabilidad de la mezcla asfáltica. A los

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

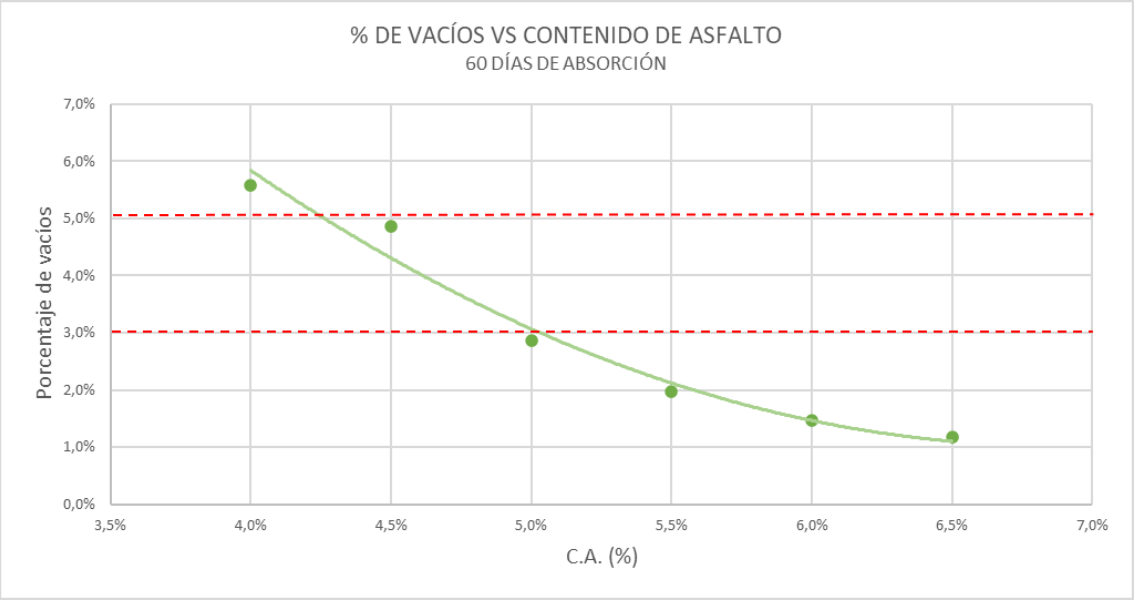
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

30 días, se puede concluir que el contenido de asfalto en este rango es el más eficiente para una mezcla estable y bien consolidada.

Figura 49

Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 60 días de absorción



Nota: Elaboración propia

La figura muestra la relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de asfalto (C.A.) a los 60 días de absorción. Al igual que en las gráficas anteriores, se observa una tendencia descendente en el porcentaje de vacíos a medida que aumenta el contenido de asfalto. Sin embargo, a los 60 días, la curva presenta una mayor estabilidad, con una disminución gradual que se nivela, lo que sugiere que el proceso de absorción ha llegado a una fase más estable y equilibrada.

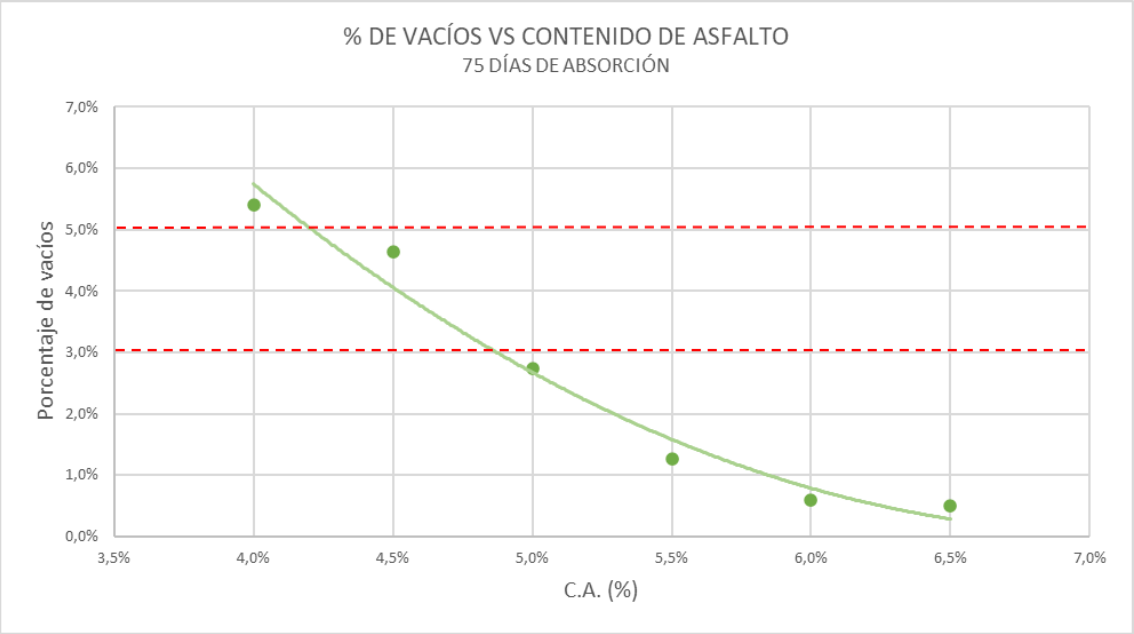
Las líneas rojas horizontales continúan marcando un rango óptimo de vacíos, en el cual el contenido de asfalto entre 4.0% y 6.0% se mantiene como el más eficiente para la mezcla asfáltica. Este comportamiento refuerza la idea de que, con el paso del tiempo, el contenido de asfalto en este intervalo no solo es el más adecuado para mantener una mezcla

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

densa y homogénea, sino que también optimiza la durabilidad y el rendimiento del material a largo plazo.

Figura 50

Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 75 días de absorción



Nota: Elaboración propia

La gráfica presenta la relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de asfalto (C.A.) a los 75 días de absorción. Al igual que en las gráficas anteriores, se observa una clara tendencia descendente en el porcentaje de vacíos conforme el contenido de asfalto aumenta. La curva muestra una disminución significativa de los vacíos en el rango de 4.0% a 5.5% de contenido de asfalto, lo que sugiere que, dentro de este intervalo, la mezcla se vuelve más densa y homogénea, con una optimización de la absorción. Este comportamiento confirma que un contenido de asfalto entre estos valores resulta ser el más adecuado para mejorar las características de la mezcla asfáltica, como la durabilidad y la resistencia. Las líneas rojas horizontales siguen marcando el rango de vacíos óptimo, el cual permanece entre 4.0% y 6.0% de contenido de asfalto, indicando que es el mejor punto de equilibrio para garantizar una mezcla de alta calidad.

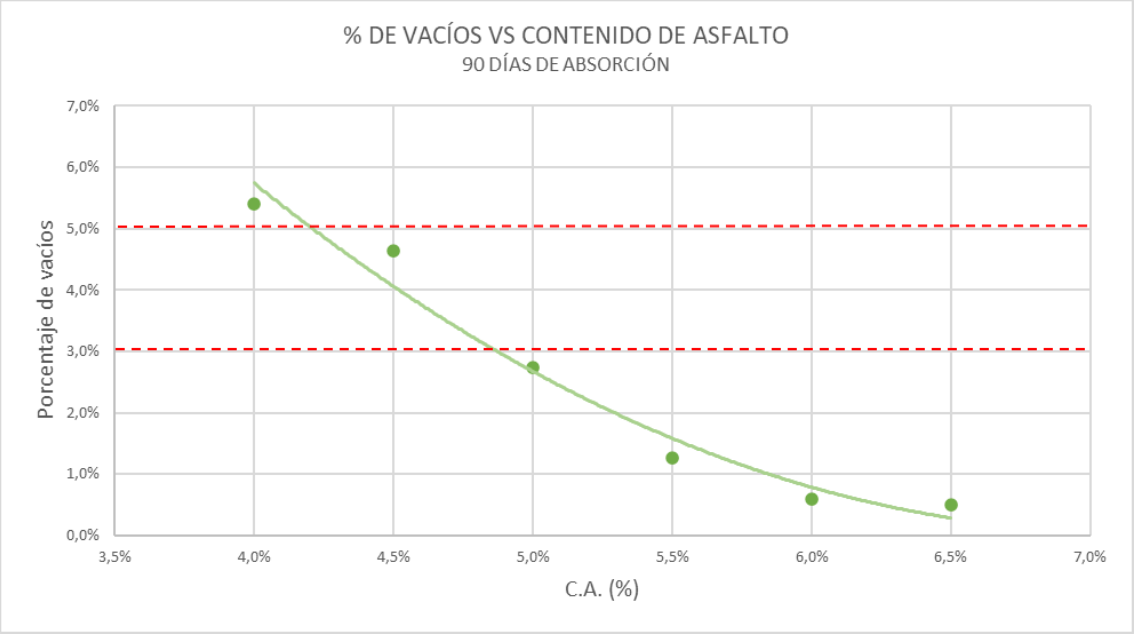
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 51

Relación de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto para 90 días de absorción



Nota: Elaboración propia

En la figura, que muestra la relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de asfalto a los 90 días de absorción, se mantiene la misma tendencia descendente observada en las gráficas previas. A medida que aumenta el contenido de asfalto, los vacíos disminuyen progresivamente. Sin embargo, a los 90 días, la curva comienza a estabilizarse de manera más evidente, indicando que el proceso de absorción ha alcanzado un punto más equilibrado.

Las líneas rojas horizontales continúan marcando un rango óptimo entre 4.0% y 6.0% de contenido de asfalto, el cual sigue siendo el más eficiente para obtener una mezcla asfáltica que combine durabilidad, resistencia y rendimiento. La estabilidad de la curva a los 90 días resalta que la mezcla con un contenido de asfalto dentro de este intervalo no solo mantiene sus propiedades físicas, sino que también asegura la eficacia de la mezcla a largo plazo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 129

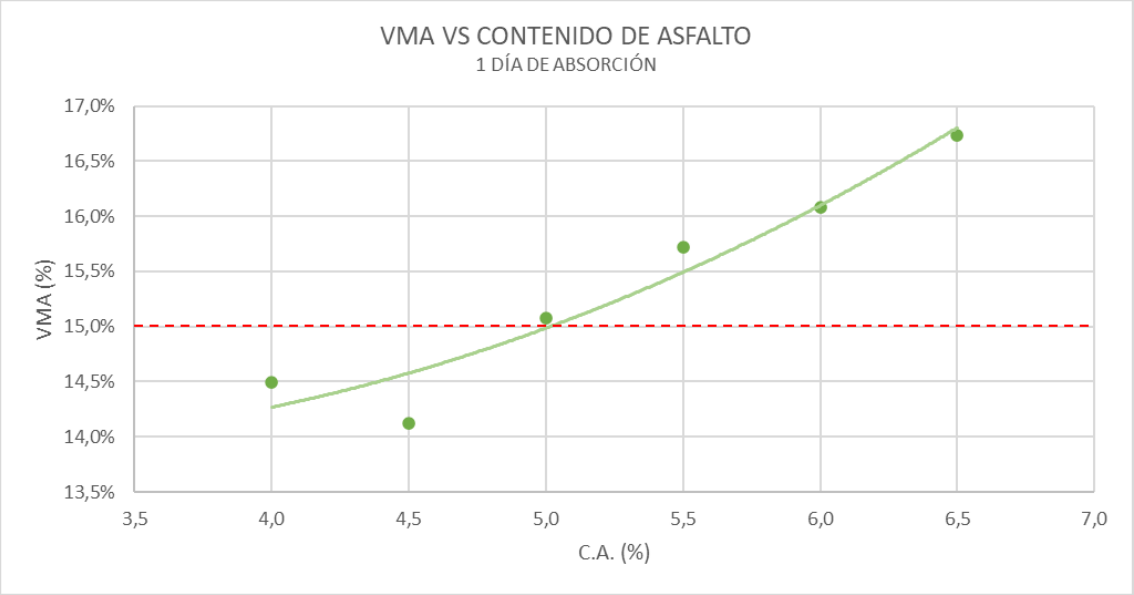
Relación de VMA y contenido de asfalto para 1 día de absorción

VMA (%)	14,49%	14,12%	15,07%	15,72%	16,08%	16,74%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 52

Relación de VMA y contenido de asfalto para 1 día de absorción



Nota: Elaboración propia

Se observa que a medida que aumenta el contenido de asfalto, el porcentaje de VMA también aumenta de manera progresiva. La curva presenta una pendiente ascendente, lo que indica que, con un mayor contenido de asfalto, el volumen de vacíos de la mezcla tiende a aumentar, lo cual puede ser un indicio de una mayor cantidad de material asfáltico que no está siendo completamente absorbido por los agregados.

La línea roja horizontal representa un valor objetivo de 15% para el VMA, lo que sugiere que un contenido de asfalto alrededor de 4.5% a 5.0% mantiene el VMA cerca de este valor deseado. El aumento del contenido de asfalto por encima de este rango provoca

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

un incremento en el VMA, lo que podría generar una mezcla asfáltica menos eficiente desde el punto de vista de la densidad y la resistencia.

Tabla 130

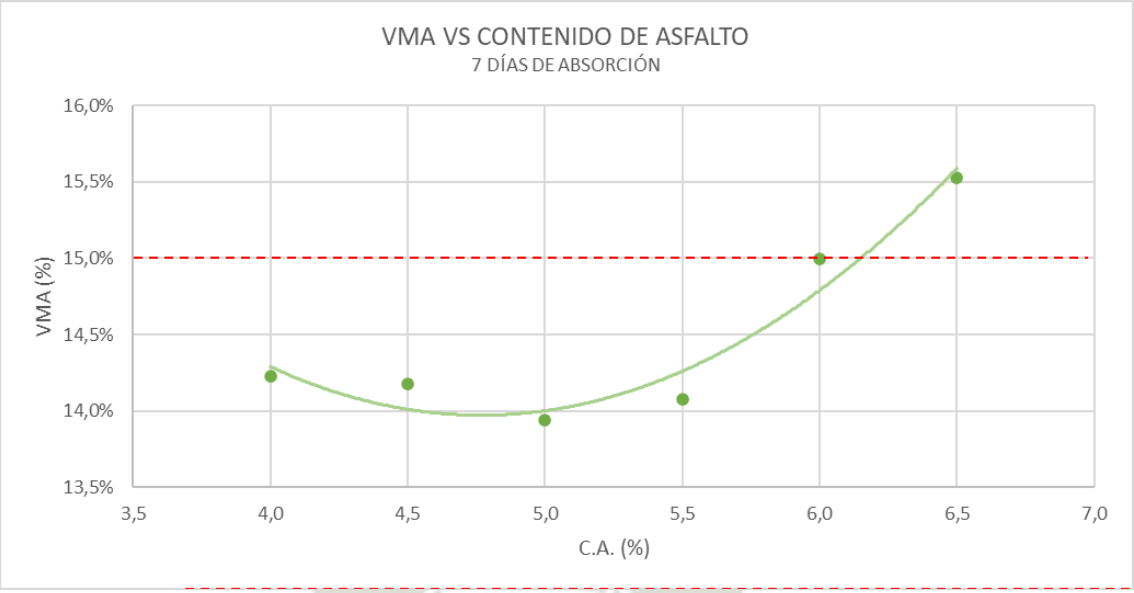
Relación de VMA y contenido de asfalto para 7 días de absorción

VMA (%)	14,23%	14,17%	13,94%	14,07%	15,00%	15,53%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 53

Relación de VMA y contenido de asfalto para 7 días de absorción



Nota: Elaboración propia

A diferencia de la tendencia observada en el primer día, la curva muestra un comportamiento más pronunciado, con un aumento claro en el VMA a medida que el contenido de asfalto aumenta. Este comportamiento sugiere que, con el paso del tiempo, el aumento en el contenido de asfalto tiene un efecto más marcado sobre los vacíos en la mezcla, lo que indica un cambio en la estructura de la mezcla asfáltica.

La línea roja horizontal marca un objetivo de 15% para el VMA, lo que implica que se debe mantener el contenido de asfalto en un nivel que minimice los vacíos sin superar el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

valor óptimo. En este caso, los contenidos de asfalto cercanos al 5.0% a 5.5% parecen ser los más adecuados para alcanzar o mantenerse cerca de este valor objetivo, mientras que valores más altos de contenido de asfalto elevan el VMA, lo que puede llevar a una mezcla menos eficiente.

Tabla 131

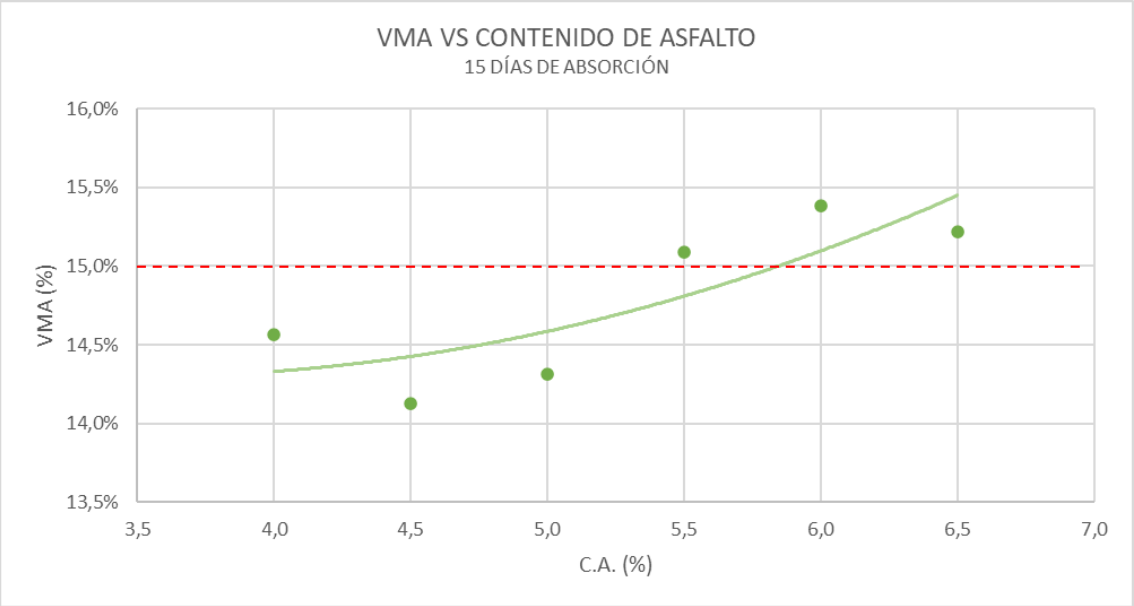
Relación de VMA y contenido de asfalto para 15 días de absorción

VMA (%)	14,56%	14,13%	14,31%	15,09%	15,38%	15,22%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 54

Relación de VMA y contenido de asfalto para 15 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Similar a las observaciones previas, el VMA aumenta progresivamente a medida que aumenta el contenido de asfalto, indicando que, a mayor asfalto, el volumen de vacíos en la mezcla también crece. Este comportamiento es más evidente a medida que avanza el tiempo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de absorción, lo que sugiere que el aumento del contenido de asfalto tiene un impacto cada vez más pronunciado en la mezcla.

La línea roja horizontal, que marca el valor objetivo de 15%, muestra que el contenido de asfalto alrededor de 4.5% a 5.0% mantiene el VMA cerca del valor deseado, lo que sugiere una mezcla equilibrada. A medida que el contenido de asfalto supera este rango, el VMA aumenta, lo que podría implicar una mezcla con mayor cantidad de vacíos, lo cual podría reducir la eficiencia de la mezcla en términos de densidad y rendimiento.

Tabla 132

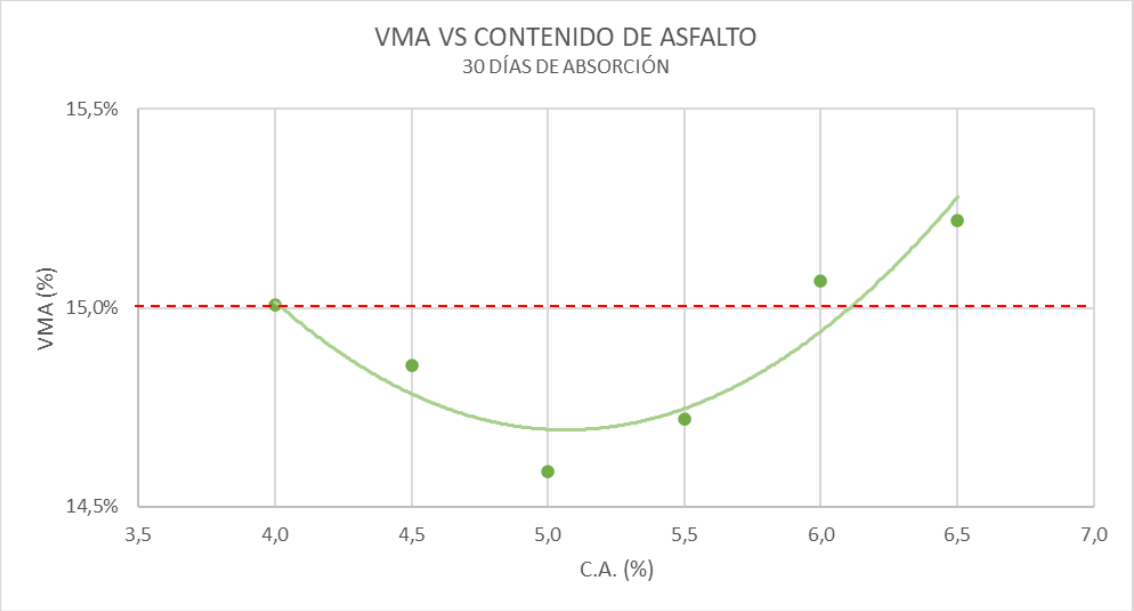
Relación de VMA y contenido de asfalto para 30 días de absorción

VMA (%)	15,01%	14,85%	14,59%	14,72%	15,07%	15,22%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 55

Relación de VMA y contenido de asfalto para 30 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Se observa que el VMA sigue una curva en forma de U, lo que indica que a valores bajos de contenido de asfalto (cerca del 4.0%), el VMA es más alto, pero a medida que el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

contenido de asfalto aumenta hasta 5.0%, el VMA disminuye, lo que sugiere que una cantidad moderada de asfalto optimiza la mezcla. Sin embargo, cuando el contenido de asfalto supera el 5.0%, el VMA vuelve a aumentar, lo que podría indicar que un exceso de asfalto genera una mayor cantidad de vacíos en la mezcla.

La línea roja horizontal marca el valor objetivo de 15%, mostrando que el contenido de asfalto alrededor de 5.0% mantiene el VMA cerca de este valor ideal. A medida que el contenido de asfalto aumenta por encima de este punto, el VMA se eleva nuevamente, lo que puede implicar que la mezcla se vuelve menos eficiente en términos de densidad y calidad.

Tabla 133

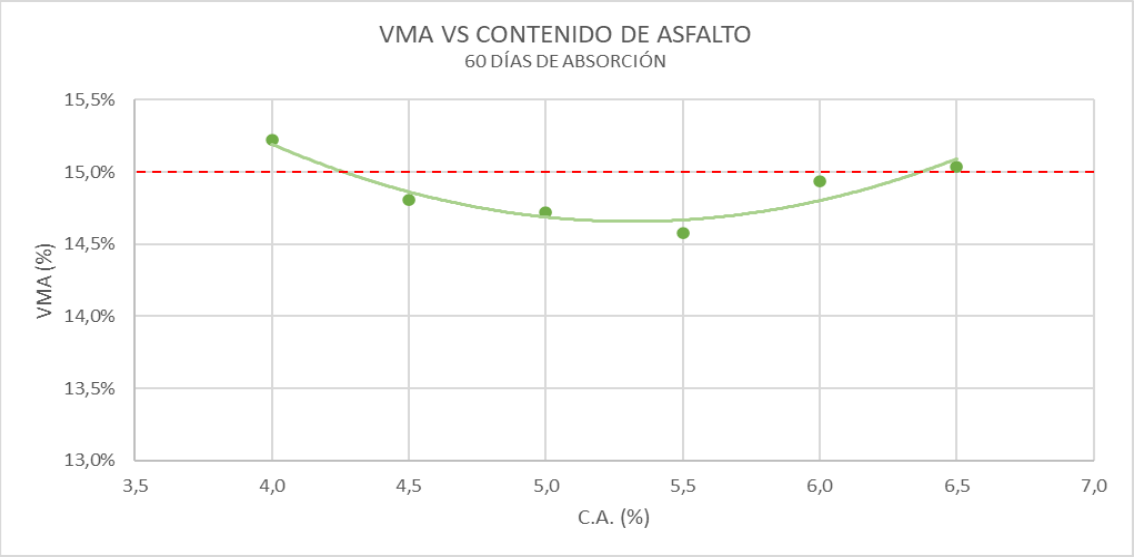
Relación de VMA y contenido de asfalto para 60 días de absorción

VMA (%)	15,22%	14,81%	14,72%	14,58%	14,93%	15,03%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 56

Relación de VMA y contenido de asfalto para 60 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Al igual que en las gráficas previas, el VMA sigue una curva en forma de U. A los 60 días, el VMA disminuye inicialmente a medida que el contenido de asfalto aumenta, alcanzando un mínimo alrededor del 5.0%. Posteriormente, cuando el contenido de asfalto supera este valor, el VMA comienza a aumentar nuevamente, lo que indica que un exceso de asfalto en la mezcla podría generar más vacíos y reducir la eficiencia de la mezcla.

La línea roja horizontal marca el valor objetivo de 15% para el VMA. El contenido de asfalto cercano al 5.0% parece ser el más adecuado para mantener el VMA cerca de este valor ideal. Valores por debajo de este contenido generan un VMA mayor, mientras que valores superiores tienden a incrementar los vacíos, lo que podría afectar la calidad y resistencia de la mezcla asfáltica a largo plazo.

Tabla 134

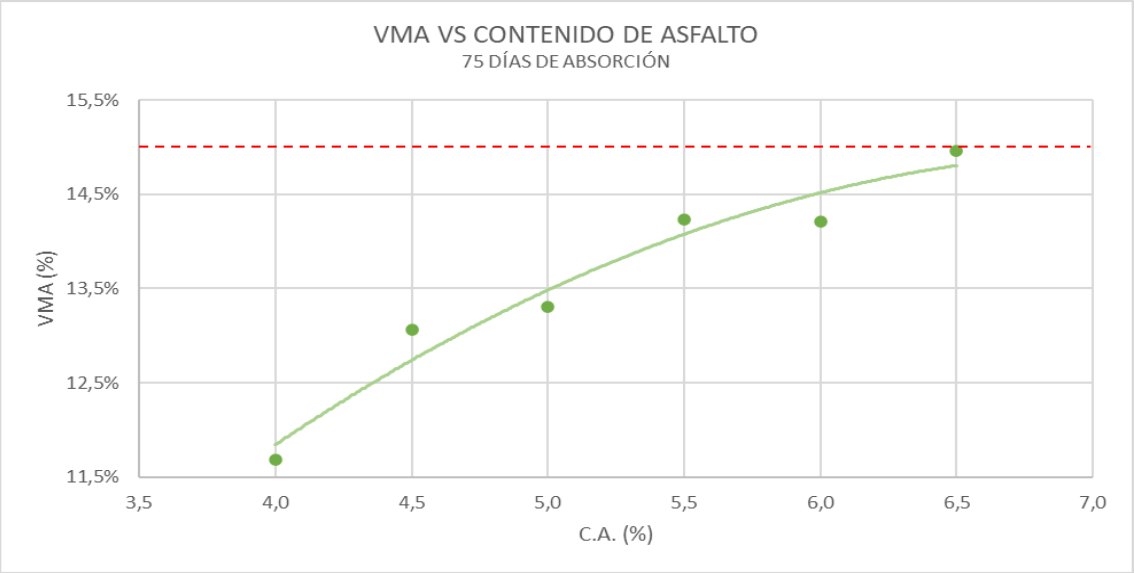
Relación de VMA y contenido de asfalto para 75 días de absorción

VMA (%)	11,69%	13,06%	13,31%	14,23%	14,21%	14,96%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 57

Relación de VMA y contenido de asfalto para 75 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Al igual que en las gráficas previas, la relación entre el VMA y el contenido de asfalto muestra una tendencia en forma de U. A los 75 días de absorción, el VMA disminuye inicialmente conforme el contenido de asfalto aumenta, alcanzando un valor mínimo alrededor del 5.0% de contenido de asfalto, con un VMA de 13,31%. A partir de este punto, cuando el contenido de asfalto supera el 5.0%, el VMA comienza a incrementarse, alcanzando 14,21% a un 6.0% de contenido de asfalto, lo que indica que un exceso de asfalto en la mezcla podría generar más vacíos, reduciendo la eficiencia de la mezcla.

La línea roja horizontal en la gráfica marca el valor objetivo del 15% para el VMA, y se observa que el contenido de asfalto cercano al 5.0% mantiene el VMA más cerca de este valor ideal. Cuando el contenido de asfalto es menor o mayor que el 5.0%, el VMA tiende a alejarse de este valor óptimo, lo que puede afectar la calidad y resistencia de la mezcla asfáltica a largo plazo. Esto sugiere que el contenido de asfalto cercano al 5.0% es el más adecuado para asegurar una mezcla eficiente con propiedades deseables en términos de vacíos y durabilidad.

Tabla 135

Relación de VMA y contenido de asfalto para 90 días de absorción

VMA (%)	11,59%	12,56%	13,07%	14,18%	14,15%	14,84%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

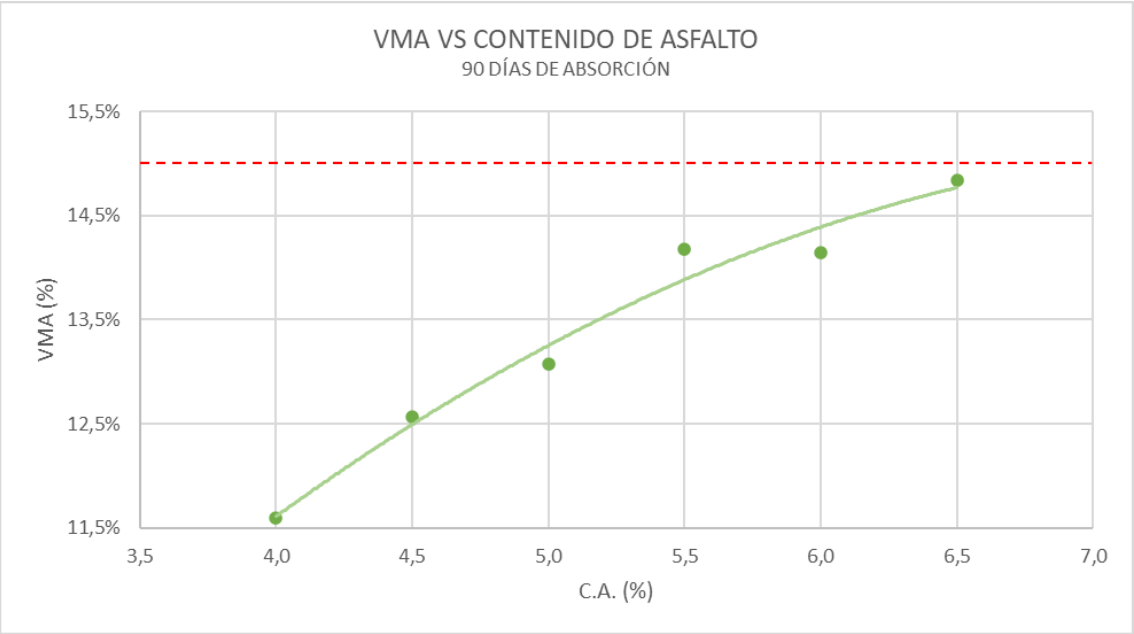
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 58

Relación de VMA y contenido de asfalto para 90 días de absorción



Nota: Elaboración propia

A los 90 días de absorción, la relación entre el VMA y el contenido de asfalto sigue la misma tendencia en forma de U observada en los análisis previos. El VMA disminuye inicialmente conforme aumenta el contenido de asfalto, alcanzando un valor mínimo de 13,07% a un 5.0% de contenido de asfalto. Sin embargo, cuando el contenido de asfalto supera este valor, el VMA comienza a aumentar nuevamente, alcanzando 14,15% a un 6.0% de contenido de asfalto. Este comportamiento indica que un exceso de asfalto en la mezcla podría generar más vacíos y reducir la eficiencia de la mezcla.

La línea roja horizontal sigue marcando el valor objetivo del 15% para el VMA. Similar a los resultados a los 75 días, el contenido de asfalto cercano al 5.0% parece ser el más adecuado para mantener el VMA cerca de este valor ideal. Los valores de VMA fuera de este rango (ya sea por debajo o por encima del 5.0%) tienden a alejarse del valor óptimo, lo que podría afectar la calidad y resistencia de la mezcla asfáltica a largo plazo. Por lo tanto,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

el contenido de asfalto cercano al 5.0% sigue siendo el más eficiente para lograr una mezcla balanceada y de alta durabilidad.

Tabla 136

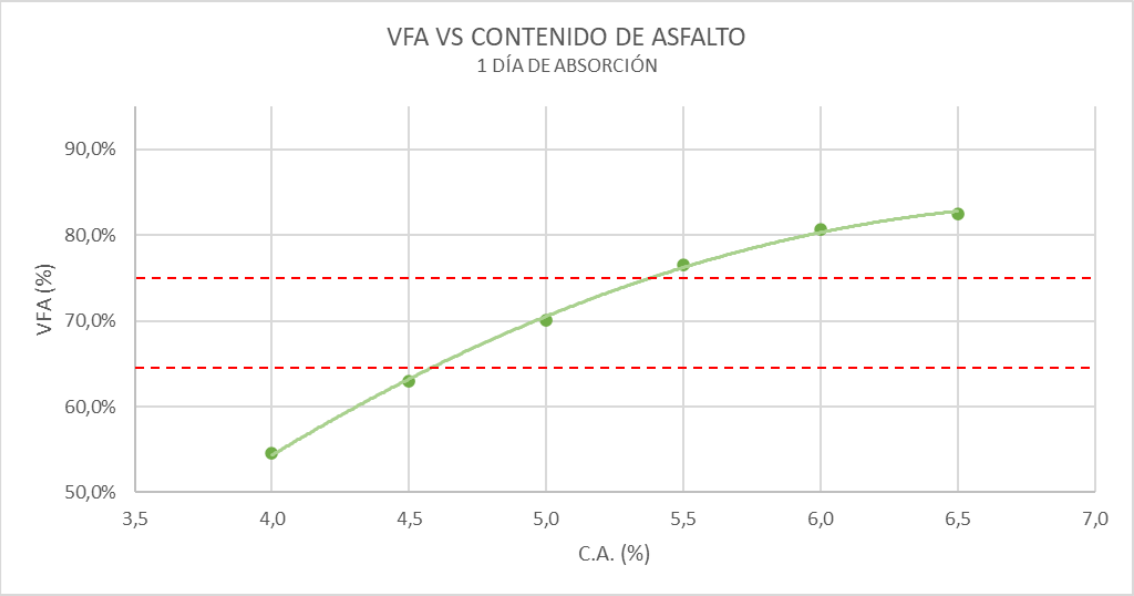
Relación de VFA y contenido de asfalto para 1 día de absorción

VFA (%)	54,54%	63,04%	70,09%	76,56%	80,65%	82,52%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 59

Relación de VFA y contenido de asfalto para 1 día de absorción



Nota: Elaboración propia

A medida que el contenido de asfalto aumenta, el porcentaje de VFA también crece, mostrando una tendencia ascendente clara. Este comportamiento sugiere que con un mayor contenido de asfalto, una mayor proporción de los vacíos en la mezcla es ocupada por asfalto, lo que mejora la densidad y la cohesión de la mezcla.

Las líneas rojas horizontales indican un rango objetivo de VFA entre 70% y 80%, lo que sugiere que los contenidos de asfalto dentro de este rango son los más adecuados para mantener una mezcla eficiente en términos de densidad y durabilidad. El contenido de asfalto

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

entre 4.5% y 6.0% se ajusta mejor a este intervalo, mientras que valores más altos provocan un VFA mayor, lo que podría llevar a una mezcla con excesivo asfalto, afectando su rendimiento a largo plazo.

Tabla 137

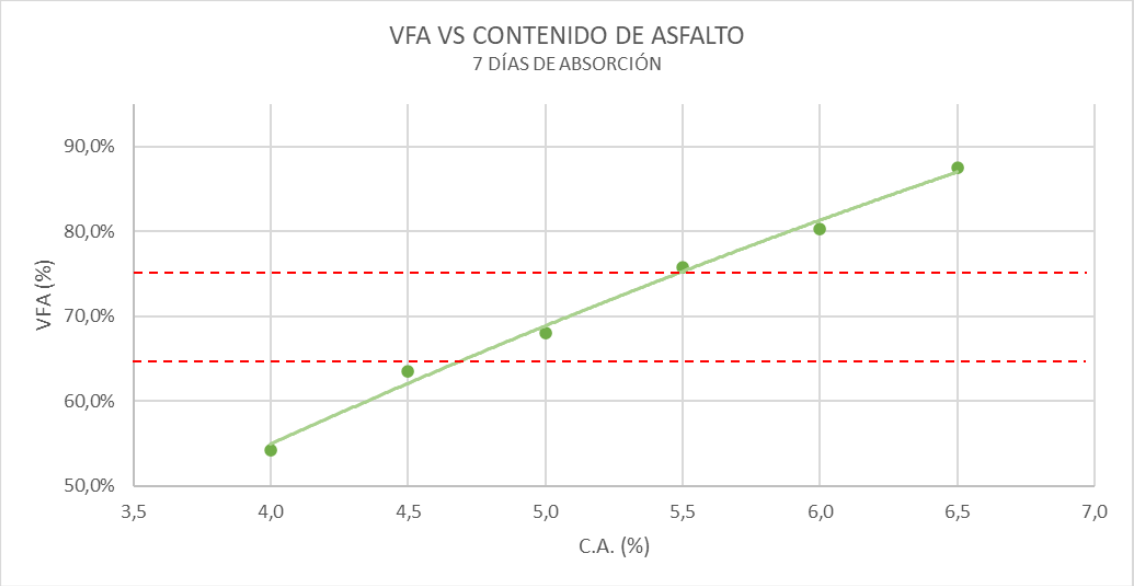
Relación de VFA y contenido de asfalto para 7 días de absorción

VFA (%)	54,26%	63,49%	68,08%	75,81%	80,25%	87,56%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 60

Relación de VFA y contenido de asfalto para 7 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Al igual que en el primer día, el porcentaje de VFA aumenta de manera progresiva conforme el contenido de asfalto crece, lo que indica que con un mayor contenido de asfalto, una mayor proporción de los vacíos es ocupada por asfalto. Esto refuerza la idea de que el aumento del contenido de asfalto mejora la cohesión y densidad de la mezcla.

Las líneas rojas horizontales marcan un rango objetivo de VFA entre 70% y 80%. Este intervalo indica que los contenidos de asfalto dentro de este rango son los más eficaces

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

para mantener una mezcla bien balanceada. Los contenidos de asfalto entre 4.5% y 6.0% mantienen el VFA en este rango, asegurando una mezcla eficiente. Al igual que en el primer día, un exceso de asfalto, más allá de este rango, podría afectar negativamente el rendimiento de la mezcla, generando una mayor proporción de asfalto innecesario.

Tabla 138

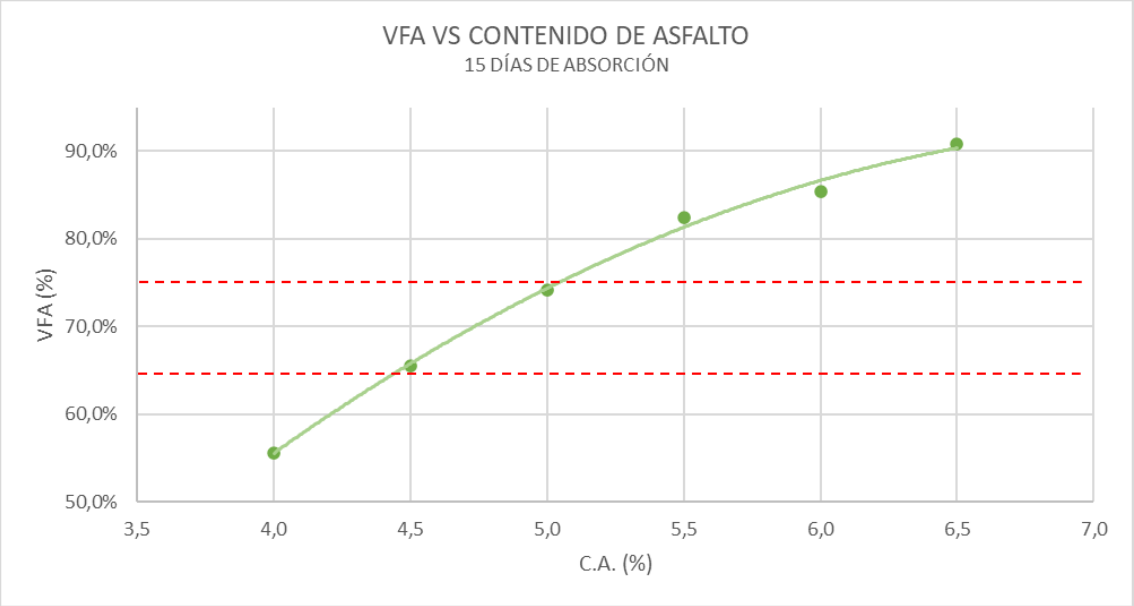
Relación de VFA y contenido de asfalto para 15 días de absorción

VFA (%)	55,61%	65,55%	74,22%	82,44%	85,40%	90,78%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 61

Relación de VFA y contenido de asfalto para 15 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Similar a las gráficas anteriores, se observa que el porcentaje de VFA aumenta de manera progresiva a medida que el contenido de asfalto crece. Este patrón sugiere que con un mayor contenido de asfalto, una mayor proporción de los vacíos en la mezcla es ocupada por asfalto, lo que mejora la cohesión y la densidad de la mezcla asfáltica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Las líneas rojas horizontales representan un rango objetivo de VFA entre 70% y 80%. Los contenidos de asfalto entre 4.5% y 6.0% mantienen el VFA dentro de este intervalo ideal, lo que asegura que la mezcla es eficiente en términos de densidad y cohesión. Valores por debajo de este rango producen un VFA menor, mientras que valores superiores provocan un VFA más alto, lo que podría resultar en una mezcla menos eficiente debido al exceso de asfalto.

Tabla 139

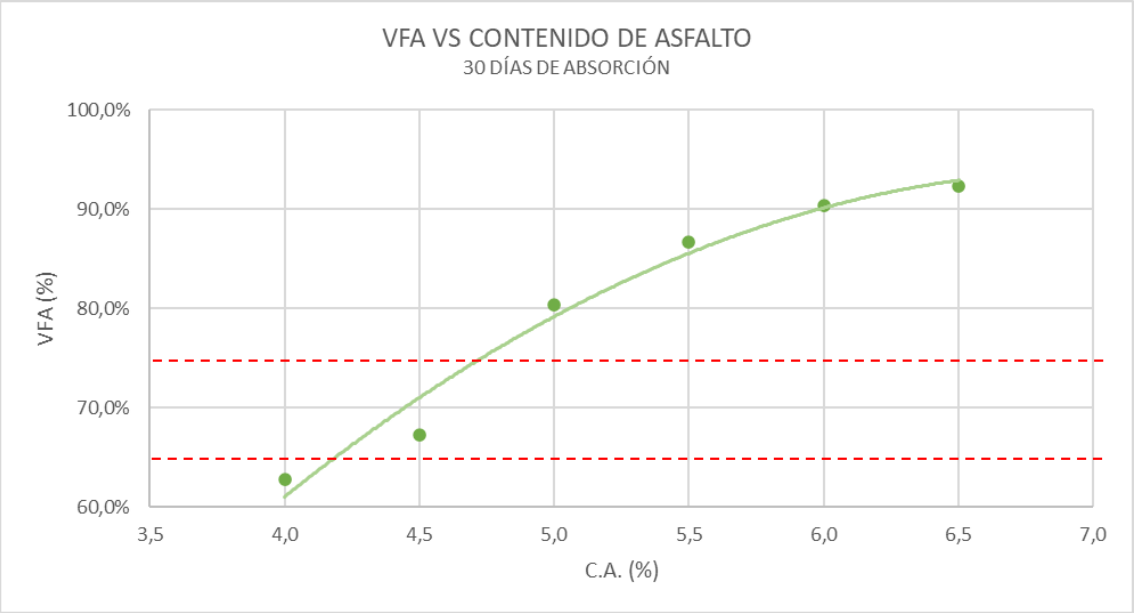
Relación de VFA y contenido de asfalto para 30 días de absorción

VFA (%)	62,82%	67,32%	80,42%	86,67%	90,33%	92,31%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 62

Relación de VFA y contenido de asfalto para 30 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Se observa una tendencia ascendente en el VFA a medida que aumenta el contenido de asfalto, lo que indica que, con más asfalto, una mayor proporción de los vacíos en la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mezcla se llena de asfalto. Esta tendencia sugiere que a medida que el contenido de asfalto aumenta, también lo hace la cohesión y la densidad de la mezcla asfáltica.

Las líneas rojas horizontales marcan el rango objetivo de VFA entre 70% y 80%. Los valores de contenido de asfalto entre 4.5% y 6.0% mantienen el VFA dentro de este rango ideal, lo que asegura una mezcla balanceada, eficiente y duradera. Valores fuera de este intervalo, tanto por debajo como por encima, pueden generar mezclas menos óptimas, con un exceso de asfalto que podría afectar la calidad y rendimiento a largo plazo de la mezcla.

Tabla 140

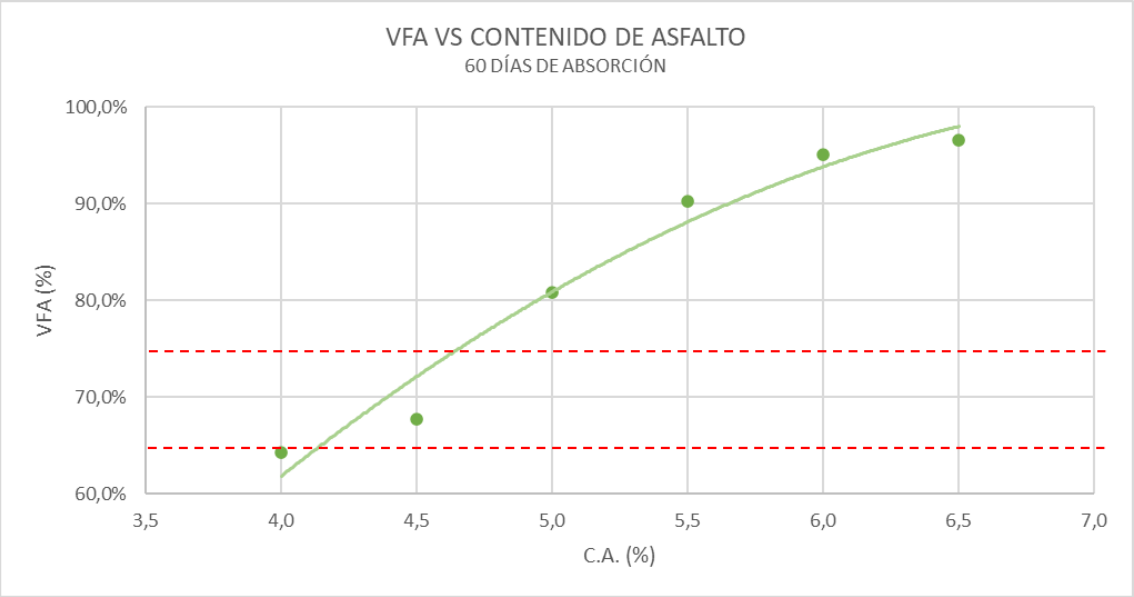
Relación de VFA y contenido de asfalto para 60 días de absorción

VFA (%)	64,27%	67,80%	80,80%	90,23%	95,08%	96,57%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 63

Relación de VFA y contenido de asfalto para 60 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Similar a las gráficas anteriores, se observa que el porcentaje de VFA aumenta progresivamente conforme aumenta el contenido de asfalto. Esto indica que un mayor

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

contenido de asfalto llena más vacíos en la mezcla, mejorando la cohesión y densidad de la misma. Las líneas rojas horizontales representan el rango objetivo de VFA entre 70% y 80%. Los contenidos de asfalto entre 4.5% y 6.0% mantienen el VFA dentro de este intervalo ideal, lo que asegura una mezcla bien equilibrada en términos de densidad y cohesión. Sin embargo, cuando el contenido de asfalto excede este rango, el VFA aumenta, lo que podría indicar que la mezcla contiene más asfalto del necesario, afectando potencialmente su rendimiento a largo plazo.

Tabla 141

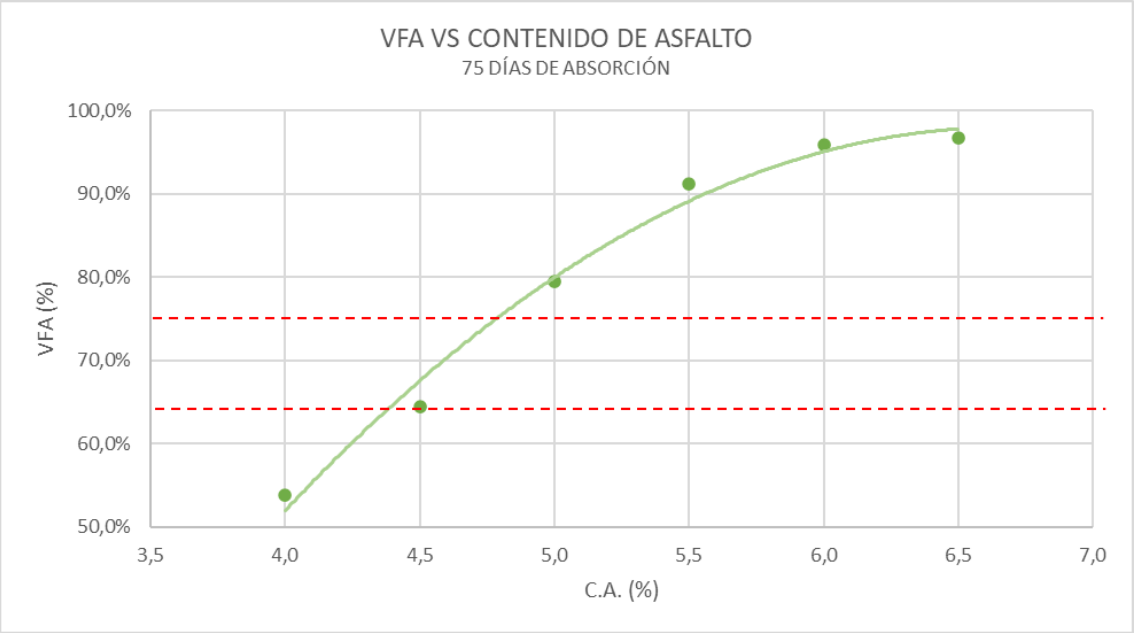
Relación de VFA y contenido de asfalto para 75 días de absorción

VFA (%)	53,78%	64,47%	79,45%	91,14%	95,91%	96,71%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 64

Relación de VFA y contenido de asfalto para 75 días de absorción



Nota: Elaboración propia

La relación entre el VFA y el contenido de asfalto a los 75 días de absorción muestra una tendencia ascendente a medida que aumenta el contenido de asfalto. Inicialmente, a un

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.0% de contenido de asfalto, el VFA es del 53,78%, y aumenta progresivamente alcanzando 96,71% al llegar a un 6.5% de contenido de asfalto. Este comportamiento sugiere que, con un mayor contenido de asfalto, la mezcla se vuelve más eficiente en términos de llenado de vacíos, lo cual es indicativo de una mezcla más densa y con una mejor distribución del asfalto en el agregado. El VFA aumenta considerablemente a medida que se incrementa el contenido de asfalto, lo que refleja la mayor ocupación de los vacíos por el asfalto, esta tendencia es positiva en cuanto a la densificación de la mezcla, también puede implicar que un exceso de asfalto podría generar una saturación que afecte la estabilidad y durabilidad de la mezcla a largo plazo.

Tabla 142

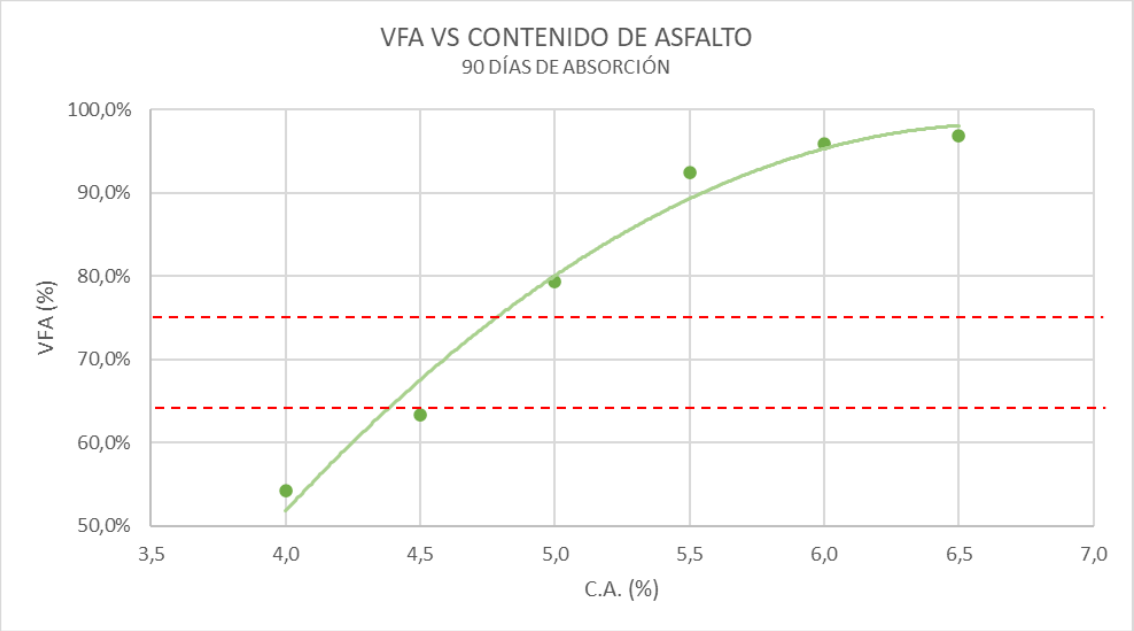
Relación de VFA y contenido de asfalto para 90 días de absorción

VFA (%)	54,27%	63,32%	79,34%	92,44%	95,89%	96,86%
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 65

Relación de VFA y contenido de asfalto para 90 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Al igual que en los 75 días de absorción, la relación entre el VFA y el contenido de asfalto a los 90 días muestra una tendencia ascendente conforme aumenta el contenido de asfalto. A los 90 días, el VFA comienza en un 54,27% con un 4.0% de contenido de asfalto y aumenta hasta alcanzar 96,86% cuando el contenido de asfalto llega al 6.5%. Este comportamiento refleja que, a medida que se incrementa el contenido de asfalto, la mezcla se vuelve más densa y eficiente en términos de llenado de vacíos, lo que mejora la cohesión de la mezcla asfáltica. Aunque el aumento del VFA a lo largo de la serie de datos indica una mayor ocupación de los vacíos por el asfalto, lo que puede mejorar la densificación, un exceso de contenido de asfalto podría comprometer la estabilidad y durabilidad de la mezcla.

Tabla 143

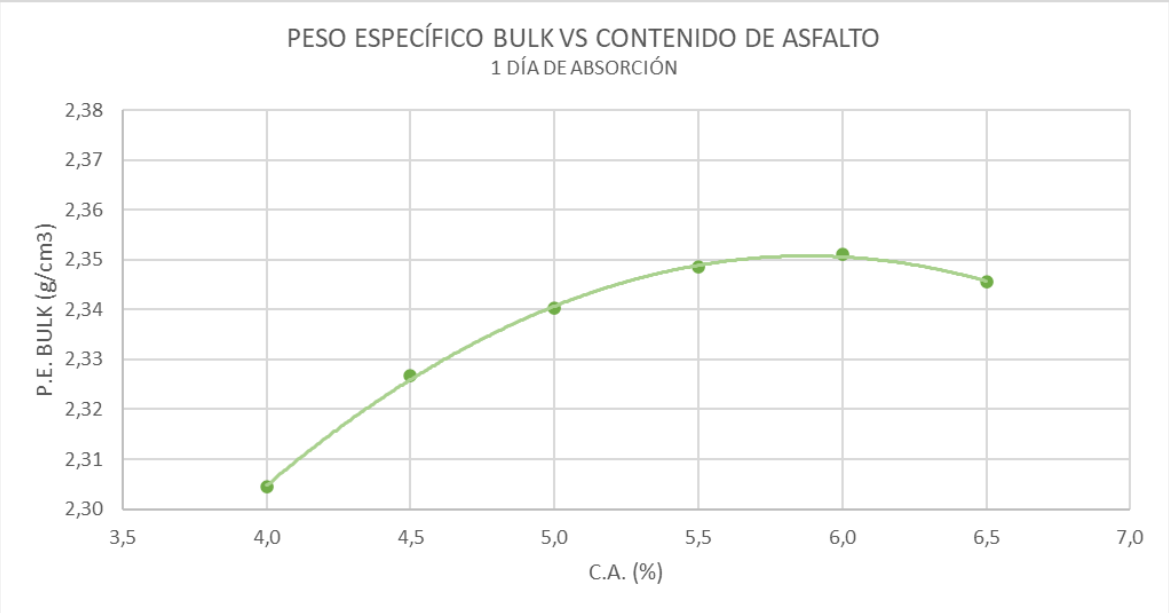
Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 1 día de absorción

P.E. BULK	2,30	2,33	2,34	2,35	2,35	2,35
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 66

Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 1 día de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Se observa que a medida que aumenta el contenido de asfalto, el peso específico bulk también tiende a aumentar inicialmente, alcanzando un punto máximo alrededor del 5.0% de contenido de asfalto. Después de este punto, el P.E. Bulk comienza a disminuir a medida que el contenido de asfalto sigue aumentando, lo que sugiere que la mezcla alcanza su punto de densidad óptima en este rango y que un exceso de asfalto puede reducir la densidad de la mezcla.

Este comportamiento puede implicar que, con un contenido de asfalto de alrededor de 5.0%, se obtiene una mezcla más densa y cohesionada, mientras que valores superiores a este nivel pueden llevar a una reducción en la densidad, afectando la eficiencia y el rendimiento de la mezcla asfáltica a largo plazo.

Tabla 144

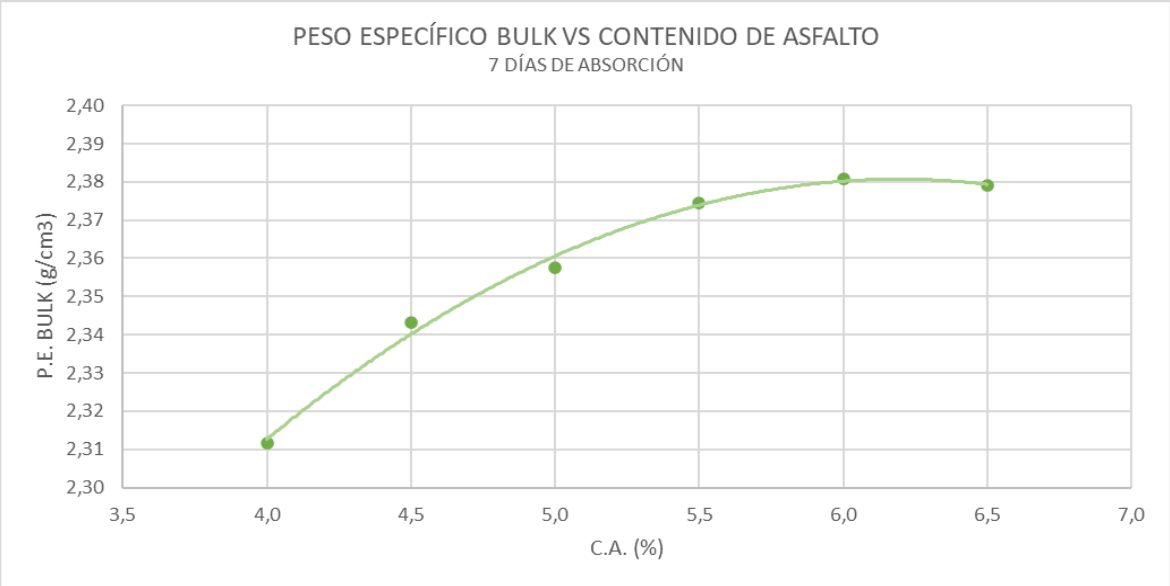
Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 7 días de absorción

P.E. BULK	2,31	2,34	2,36	2,37	2,38	2,38
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 67

Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 7 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Al igual que en el primer día, se observa una tendencia ascendente en el P.E. Bulk a medida que aumenta el contenido de asfalto. El peso específico aumenta hasta llegar a un punto máximo alrededor del 5.0% de contenido de asfalto, después del cual comienza a estabilizarse y finalmente disminuye ligeramente a medida que el contenido de asfalto supera este nivel.

Este comportamiento sugiere que un contenido de asfalto de alrededor del 5.0% proporciona la mezcla más densa, mientras que valores superiores a este punto pueden llevar a una disminución en la densidad de la mezcla. Esto puede ser indicativo de que un exceso de asfalto en la mezcla reduce la eficiencia del material, afectando negativamente la densidad y la calidad a largo plazo de la mezcla asfáltica.

Tabla 145

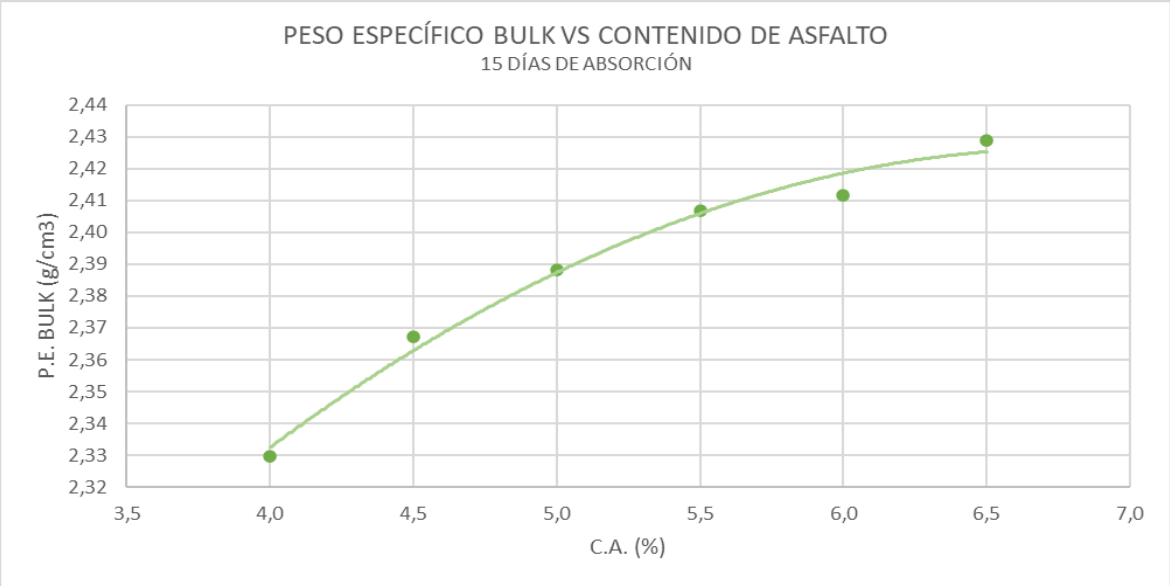
Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 15 días de absorción

P.E. BULK	2,33	2,37	2,39	2,41	2,41	2,43
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 68

Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 15 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Al igual que en las observaciones anteriores, se ve una tendencia ascendente en el P.E. Bulk a medida que el contenido de asfalto aumenta. El peso específico continúa incrementándose hasta un máximo alrededor del 5.0% de contenido de asfalto, después de lo cual la curva comienza a estabilizarse y muestra un incremento más leve.

Este comportamiento indica que un contenido de asfalto cercano al 5.0% proporciona la mezcla más densa. Sin embargo, cuando el contenido de asfalto supera este valor, el aumento del P.E. Bulk disminuye, sugiriendo que un exceso de asfalto podría reducir la eficiencia de la mezcla, afectando su densidad y rendimiento a largo plazo.

Tabla 146

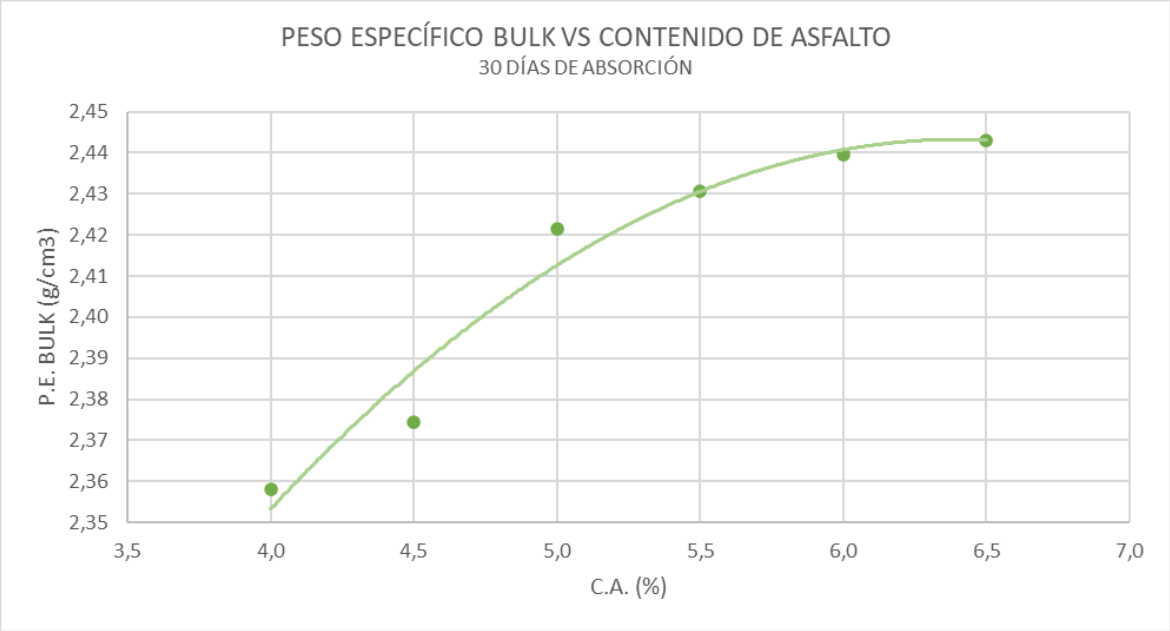
Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 30 días de absorción

P.E. BULK	2,36	2,37	2,42	2,43	2,44	2,44
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 69

Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 30 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Al igual que en los días previos, se observa una tendencia ascendente en el P.E. Bulk a medida que aumenta el contenido de asfalto, alcanzando un máximo alrededor del 5.0% de contenido de asfalto. Después de este punto, la curva tiende a estabilizarse, lo que indica que, a medida que se agrega más asfalto, la densidad de la mezcla sigue aumentando, pero a un ritmo más lento.

Este comportamiento sugiere que el contenido de asfalto cercano al 5.0% es el más adecuado para obtener una mezcla óptima en términos de densidad. Superar este valor puede provocar una ligera disminución en la eficiencia de la mezcla, dado que el incremento en el peso específico bulk comienza a ser menos pronunciado, lo que puede afectar el rendimiento a largo plazo de la mezcla asfáltica.

Tabla 147

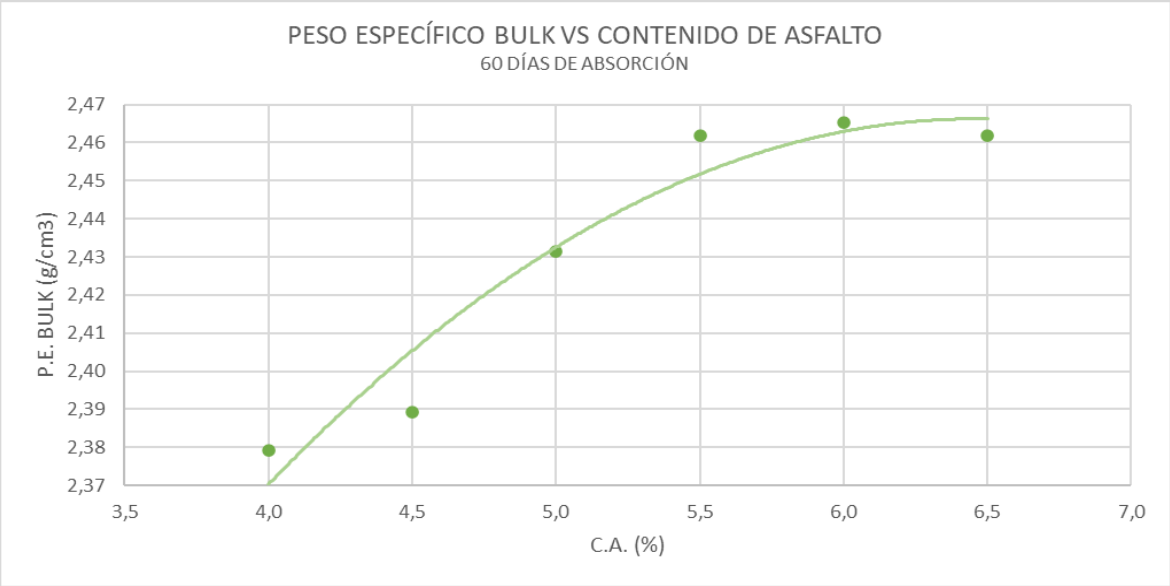
Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 60 días de absorción

P.E. BULK	2,38	2,39	2,43	2,46	2,47	2,46
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 70

Comparación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 60 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Al igual que en las gráficas previas, se observa una tendencia ascendente en el P.E. Bulk a medida que aumenta el contenido de asfalto. El peso específico sigue incrementándose hasta alcanzar su máximo alrededor del 5.0% de contenido de asfalto. Posteriormente, la curva comienza a estabilizarse, lo que sugiere que, aunque el incremento en el contenido de asfalto aumenta la densidad, los efectos se reducen al superar este punto.

Este comportamiento confirma que un contenido de asfalto de aproximadamente 5.0% es el más eficiente para obtener una mezcla densa y cohesionada. Valores superiores a este nivel provocan un leve aumento en el P.E. Bulk, lo que podría implicar una disminución en la eficiencia de la mezcla, afectando su rendimiento a largo plazo.

Tabla 148

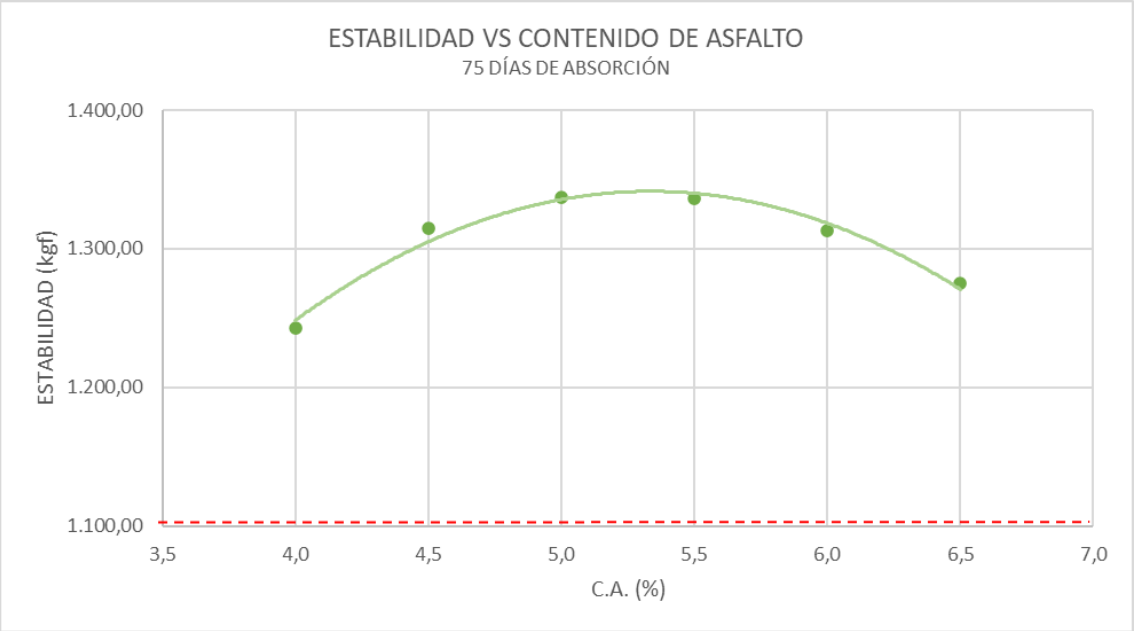
Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 75 días de absorción

P.E. BULK	2,38	2,40	2,43	2,47	2,47	2,47
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 71

Comparación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 75 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Al igual que en las gráficas previas, se observa una tendencia ascendente en el peso específico Bulk (P.E. Bulk) a medida que aumenta el contenido de asfalto. El P.E. Bulk comienza en 2,38 a un 4.0% de contenido de asfalto y sigue incrementándose gradualmente hasta alcanzar un valor de 2,47 en los puntos de 5.5%, 6.0% y 6.5% de contenido de asfalto. Este comportamiento sugiere que el incremento en el contenido de asfalto aumenta la densidad de la mezcla, lo cual mejora su cohesión. Sin embargo, después de alcanzar los 2,47 en los puntos de 5.5% y 6.0%, la curva se estabiliza, lo que indica que los efectos del contenido de asfalto sobre el P.E. Bulk disminuyen al superar el 5.0%. Esto refuerza la idea de que un contenido de asfalto cercano al 5.0% es el más eficiente para lograr una mezcla densa y cohesionada, lo cual optimiza el rendimiento de la mezcla asfáltica.

Tabla 149

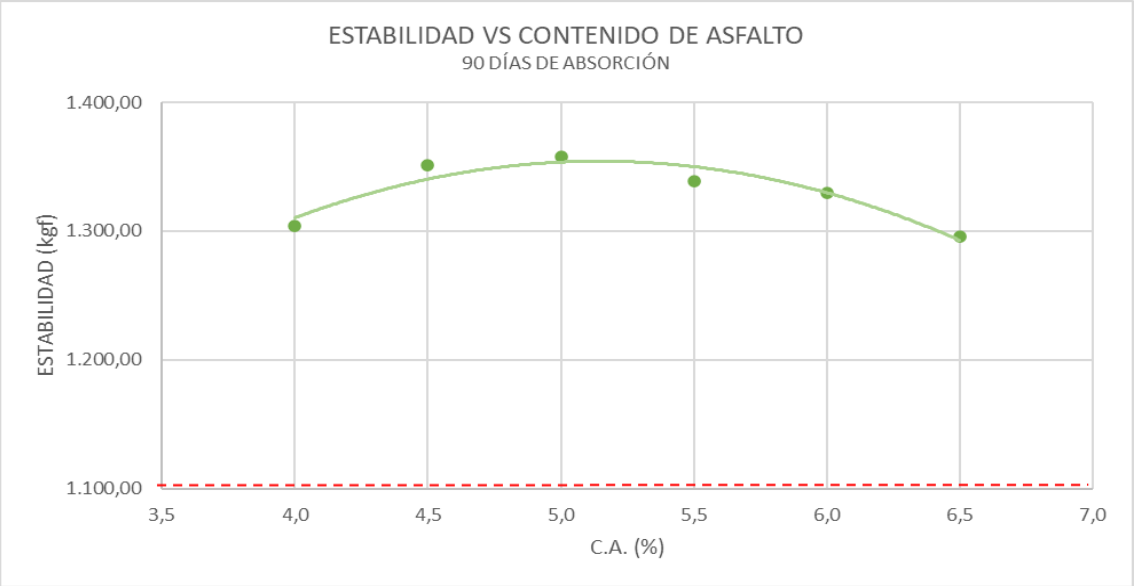
Relación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 90 días de absorción

P.E. BULK	2,38	2,40	2,44	2,47	2,47	2,47
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 72

Comparación de peso específico Bulk y contenido de asfalto para 90 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A los 90 días de absorción, se observa una tendencia ascendente en el peso específico Bulk (P.E. Bulk) a medida que aumenta el contenido de asfalto. El P.E. Bulk comienza en 2,38 a un 4.0% de contenido de asfalto y aumenta gradualmente hasta alcanzar 2,47 a los 5.5%, 6.0% y 6.5% de contenido de asfalto. Esto indica que el incremento del contenido de asfalto aumenta la densidad de la mezcla, mejorando su cohesión.

Sin embargo, a partir de 5.0% de contenido de asfalto, el P.E. Bulk comienza a estabilizarse, sugiriendo que el aumento de la densidad se vuelve menos pronunciado al superar este punto. Este comportamiento confirma que un contenido de asfalto cercano al 5.0% es el más eficiente para obtener una mezcla densa y cohesionada.

Tabla 150

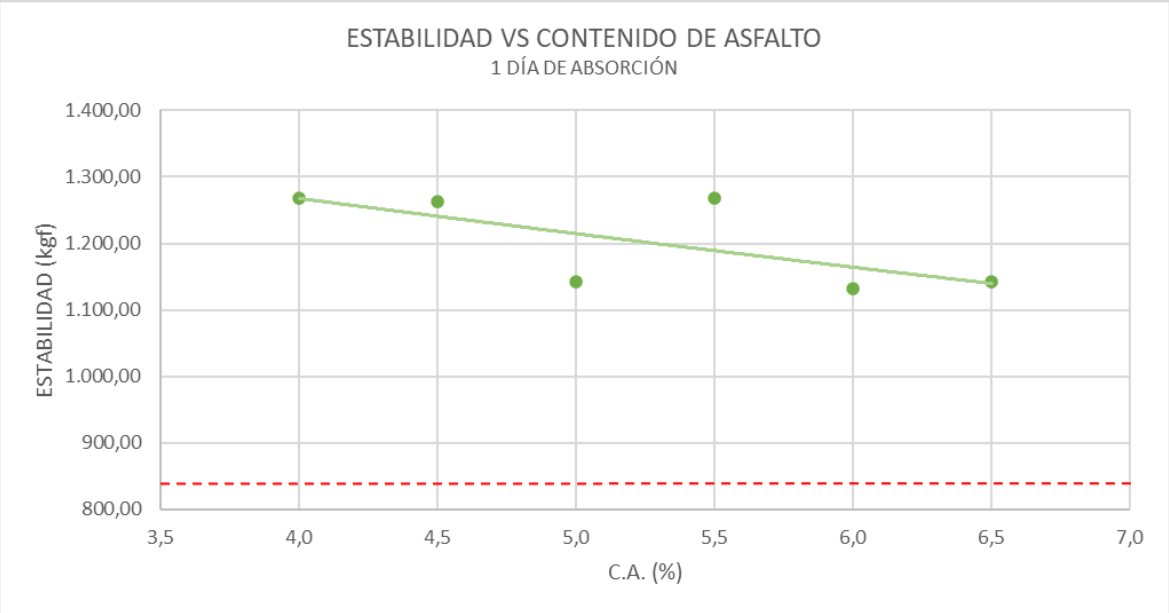
Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 1 día de absorción

Estabilidad	1267,92	1263,28	1142,81	1267,60	1131,87	1142,81
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 73

Comparación de estabilidad y contenido de asfalto para 1 día de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Se observa que a medida que el contenido de asfalto aumenta, la estabilidad de la mezcla disminuye. La curva tiene una pendiente negativa, lo que indica que un mayor contenido de asfalto en la mezcla reduce su estabilidad. Esto sugiere que, al aumentar el contenido de asfalto más allá de un cierto punto, la mezcla puede volverse menos resistente a la deformación. La línea roja horizontal representa un valor mínimo de estabilidad, y en este caso, los valores de contenido de asfalto cercanos al 4.0% parecen ofrecer la mayor estabilidad. A medida que el contenido de asfalto aumenta, la estabilidad se reduce, alcanzando su nivel más bajo alrededor del 6.0%. Este comportamiento sugiere que un contenido de asfalto demasiado alto podría afectar la resistencia de la mezcla, reduciendo su capacidad para soportar cargas.

Tabla 151

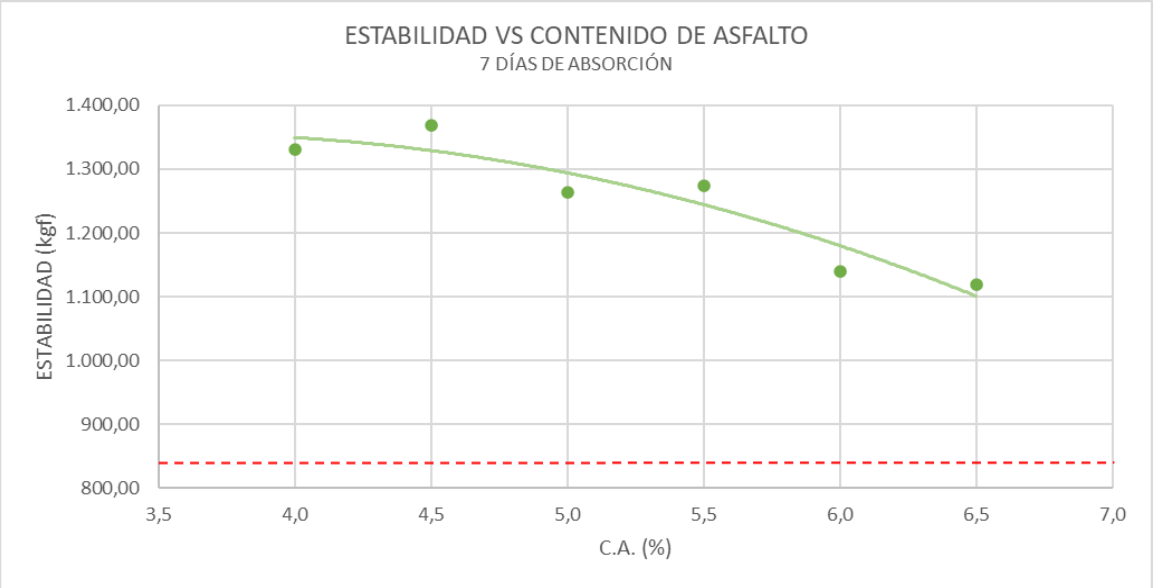
Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 7 días de absorción

Estabilidad	1331,51	1368,81	1263,66	1274,67	1140,05	1118,59
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 74

Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 7 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Se observa que la estabilidad de la mezcla disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto, similar a lo que ocurre en el primer día de absorción. La curva tiene una pendiente negativa, lo que indica que un mayor contenido de asfalto reduce la estabilidad de la mezcla. La línea roja horizontal marca un valor mínimo de estabilidad. Al igual que en la figura anterior, se observa que los valores más bajos de contenido de asfalto (cerca del 4.0%) ofrecen la mayor estabilidad, mientras que a partir del 5.0% en adelante, la estabilidad empieza a disminuir significativamente. Este comportamiento sugiere que el contenido de asfalto debe mantenerse dentro de un rango adecuado para evitar que la mezcla se vuelva menos resistente a la deformación y a la carga.

Tabla 152

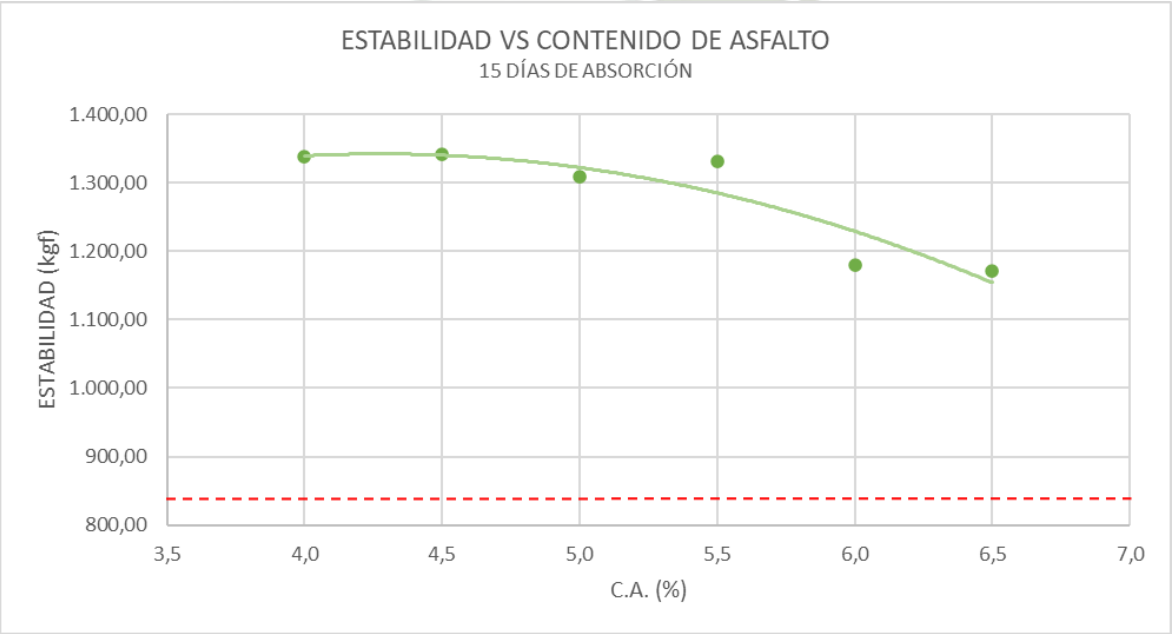
Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 15 días de absorción

Estabilidad	1338,36	1341,09	1308,39	1330,57	1180,61	1170,78
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 75

Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 15 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Se observa que, al igual que en los días anteriores, la estabilidad disminuye conforme el contenido de asfalto aumenta, lo que indica que un exceso de asfalto reduce la estabilidad de la mezcla. La curva tiene una pendiente negativa y muestra una leve estabilización en los valores más bajos de contenido de asfalto (alrededor del 4.0%).

La línea roja horizontal representa un valor mínimo de estabilidad. La estabilidad se mantiene relativamente alta entre el 4.0% y el 5.0% de contenido de asfalto, después de lo cual comienza a disminuir de manera significativa. Esto sugiere que para mantener una mezcla eficiente y estable, el contenido de asfalto debe mantenerse dentro de este rango para evitar problemas de deformación y pérdida de resistencia bajo cargas.

Tabla 153

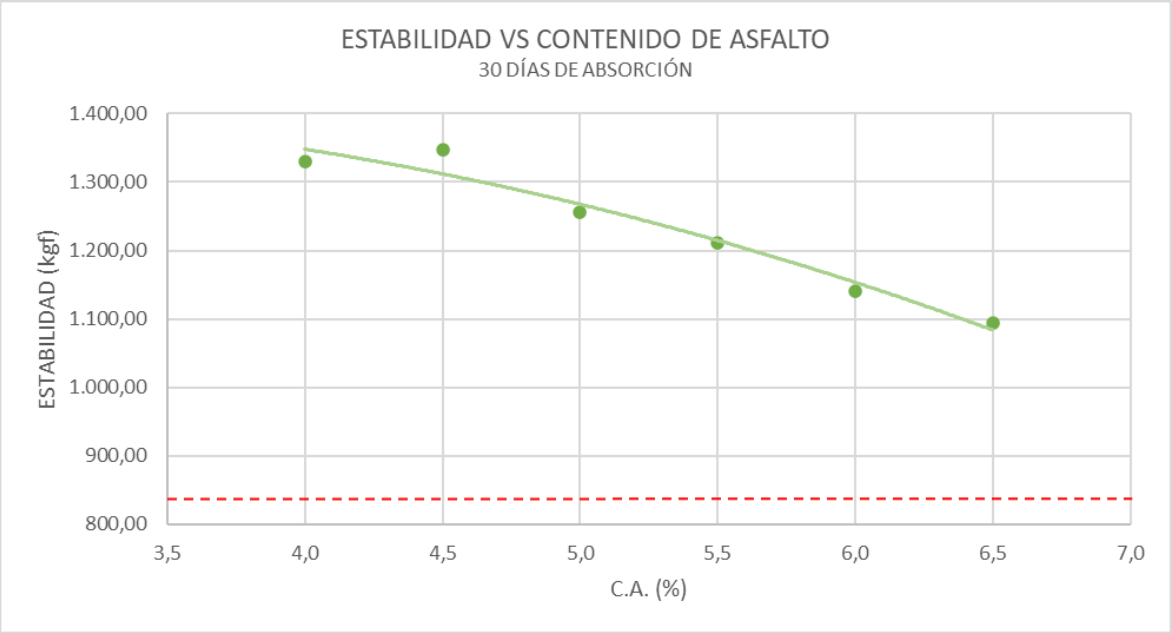
Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 30 días de absorción

Estabilidad	1330,96	1346,76	1255,63	1212,03	1140,83	1093,61
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 76

Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 30 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Al igual que en las observaciones previas, se observa una disminución de la estabilidad conforme el contenido de asfalto aumenta. La curva tiene una pendiente negativa, lo que indica que un mayor contenido de asfalto reduce la estabilidad de la mezcla con el paso del tiempo.

La línea roja horizontal marca el valor mínimo de estabilidad. Se puede notar que los valores de estabilidad permanecen relativamente altos para contenidos de asfalto entre el 4.0% y el 5.0%, pero después de este punto, la estabilidad disminuye de manera significativa. Este comportamiento resalta la importancia de mantener el contenido de asfalto dentro de un rango óptimo, ya que exceder este valor podría comprometer la resistencia de la mezcla a largo plazo, haciéndola más susceptible a la deformación y al desgaste.

Tabla 154

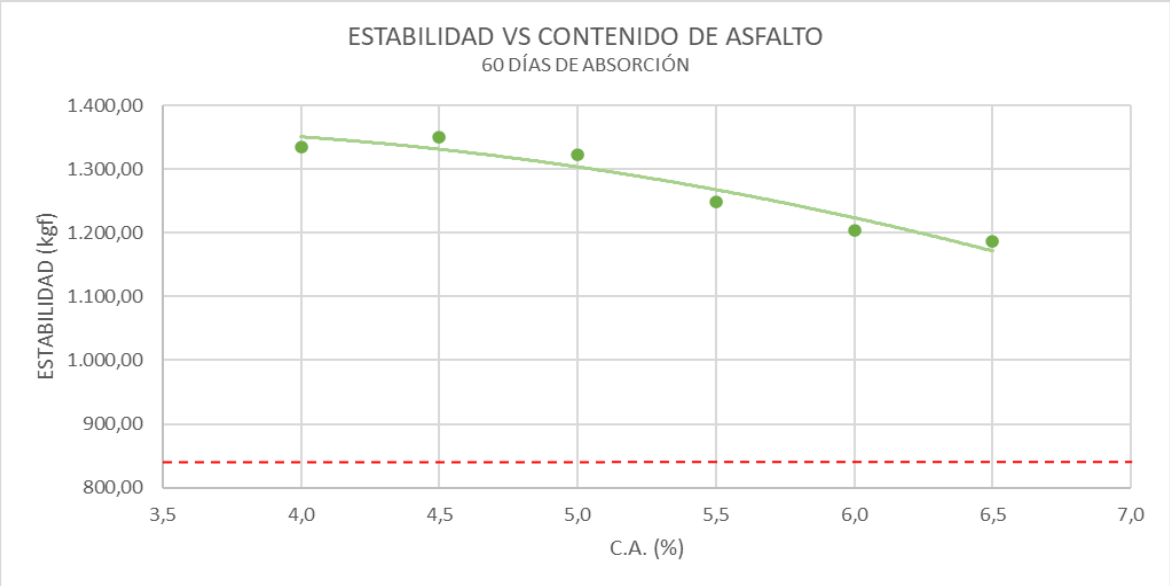
Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 60 días de absorción

Estabilidad	1335,35	1350,35	1322,65	1249,49	1203,19	1187,28
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 77

Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 60 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Se mantiene la tendencia observada en los días anteriores: a medida que el contenido de asfalto aumenta, la estabilidad de la mezcla disminuye. La curva tiene una pendiente negativa, indicando que un mayor contenido de asfalto reduce la capacidad de la mezcla para resistir cargas.

La línea roja horizontal marca el valor mínimo de estabilidad. Se observa que el contenido de asfalto alrededor del 4.0% ofrece la mayor estabilidad, y a medida que se incrementa el contenido de asfalto, la estabilidad se reduce progresivamente. A partir del 5.0% en adelante, la disminución de la estabilidad es más pronunciada.

Tabla 155

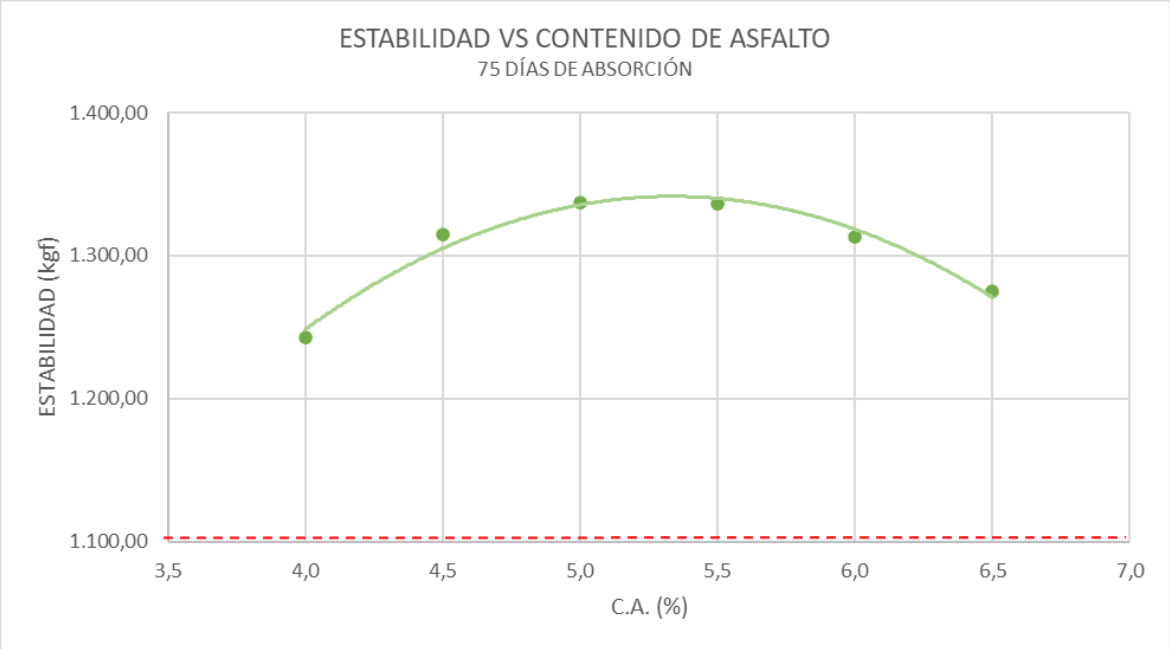
Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 75 días de absorción

Estabilidad	1242,82	1314,56	1336,92	1336,04	1312,79	1275,23
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 78

Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 75 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A los 75 días de absorción, el valor de estabilidad comienza en 1242,82 a un 4.0% de contenido de asfalto y aumenta progresivamente hasta alcanzar 1336,92 en el 5.0%. Sin embargo, a medida que el contenido de asfalto supera este valor, la estabilidad comienza a disminuir. La línea roja horizontal marca el valor mínimo de estabilidad, y se observa que el contenido de asfalto alrededor del 4.0% ofrece la mayor estabilidad. A medida que se incrementa el contenido de asfalto, la estabilidad se reduce progresivamente, alcanzando un valor mínimo de 1275,23 al llegar a un 6.5% de contenido de asfalto.

Tabla 156

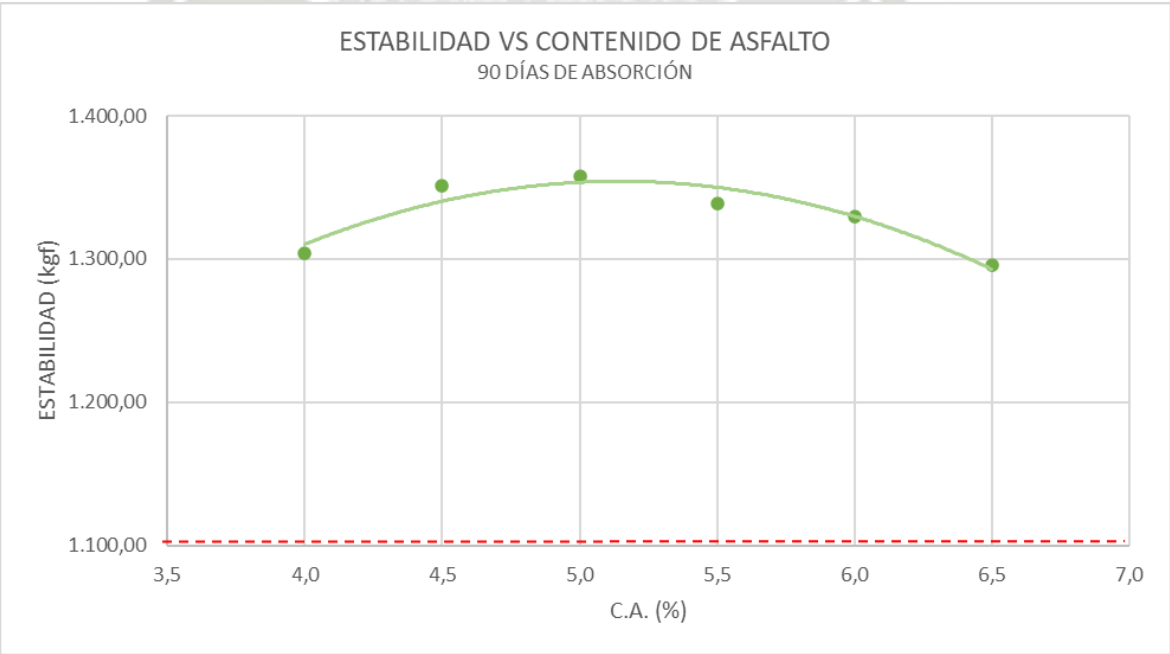
Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 90 días de absorción

Estabilidad	1303,74	1350,84	1358,17	1338,52	1329,51	1295,96
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 79

Relación de estabilidad y contenido de asfalto para 90 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A los 90 días de absorción, la estabilidad comienza en 1303,74 a un 4.0% de contenido de asfalto y muestra un aumento progresivo hasta alcanzar 1358,17 a un 5.0%. Sin embargo, a partir de este punto, la estabilidad comienza a descender. En el 5.5% y 6.0% de contenido de asfalto, la estabilidad disminuye a 1338,52 y 1329,51, respectivamente. Finalmente, a un 6.5% de contenido de asfalto, la estabilidad alcanza su valor más bajo de 1295,96. La línea roja horizontal marca el valor mínimo de estabilidad, y se observa que el contenido de asfalto alrededor del 4.0% y 5.0% ofrece la mayor estabilidad. A medida que el contenido de asfalto supera el 5.0%, la estabilidad comienza a disminuir, siendo más pronunciada a partir del 5.5%. Este comportamiento refuerza la idea de que un contenido de asfalto cercano al 4.0% y 5.0% es el más eficiente para mantener la estabilidad de la mezcla.

Tabla 157

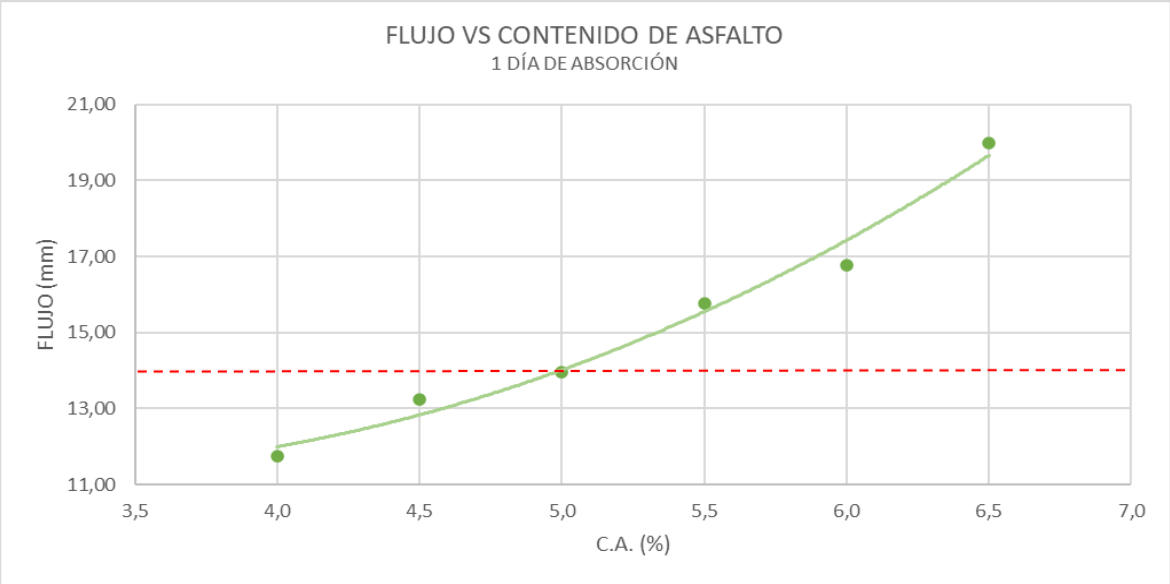
Relación de flujo y contenido de asfalto para 1 día de absorción

Flujo	11,75	13,24	13,97	15,77	16,76	19,99
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 80

Relación de flujo y contenido de asfalto para 1 día de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Se observa que el flujo aumenta a medida que el contenido de asfalto crece, lo que indica que una mayor cantidad de asfalto hace que la mezcla se vuelva más fluida. La curva tiene una pendiente ascendente, lo que sugiere que el flujo es sensible al contenido de asfalto en las primeras etapas de absorción.

La línea roja horizontal marca un valor objetivo de flujo de aproximadamente 13 mm. Los contenidos de asfalto cercanos al 4.0% mantienen el flujo cerca de este valor objetivo. A medida que el contenido de asfalto aumenta, el flujo supera este valor, lo que podría indicar una mezcla más susceptible a deformarse bajo carga. Este comportamiento resalta la importancia de controlar el contenido de asfalto para evitar que el flujo sea excesivo, lo que podría comprometer la estabilidad de la mezcla.

Tabla 158

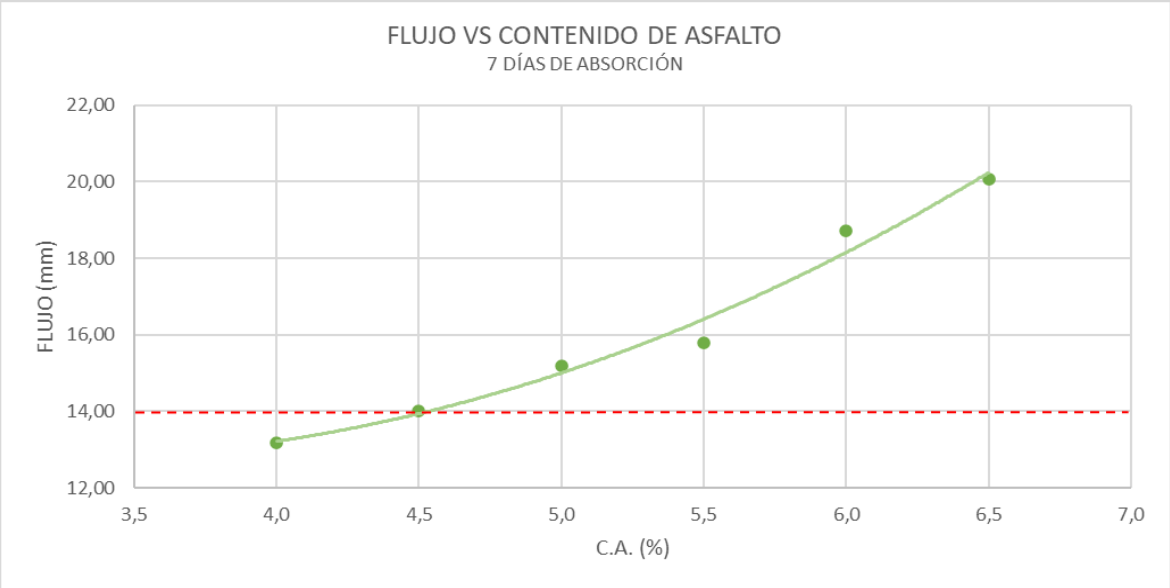
Relación de flujo y contenido de asfalto para 7 días de absorción

Flujo	13,18	14,01	15,19	15,79	18,72	20,06
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 81

Relación de flujo y contenido de asfalto para 7 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Se observa una tendencia ascendente similar a la del primer día: a medida que aumenta el contenido de asfalto, el flujo también aumenta, indicando que la mezcla se vuelve más fluida con un mayor contenido de asfalto. La curva tiene una pendiente positiva que refleja la sensibilidad del flujo al contenido de asfalto.

La línea roja horizontal marca un valor objetivo de flujo de aproximadamente 14 mm. Los contenidos de asfalto cercanos al 4.0% mantienen el flujo alrededor de este valor objetivo. Sin embargo, a medida que el contenido de asfalto supera el 4.5%, el flujo aumenta significativamente, lo que sugiere que un exceso de asfalto podría hacer que la mezcla sea demasiado fluida, comprometiendo la estabilidad y la resistencia a la deformación.

Tabla 159

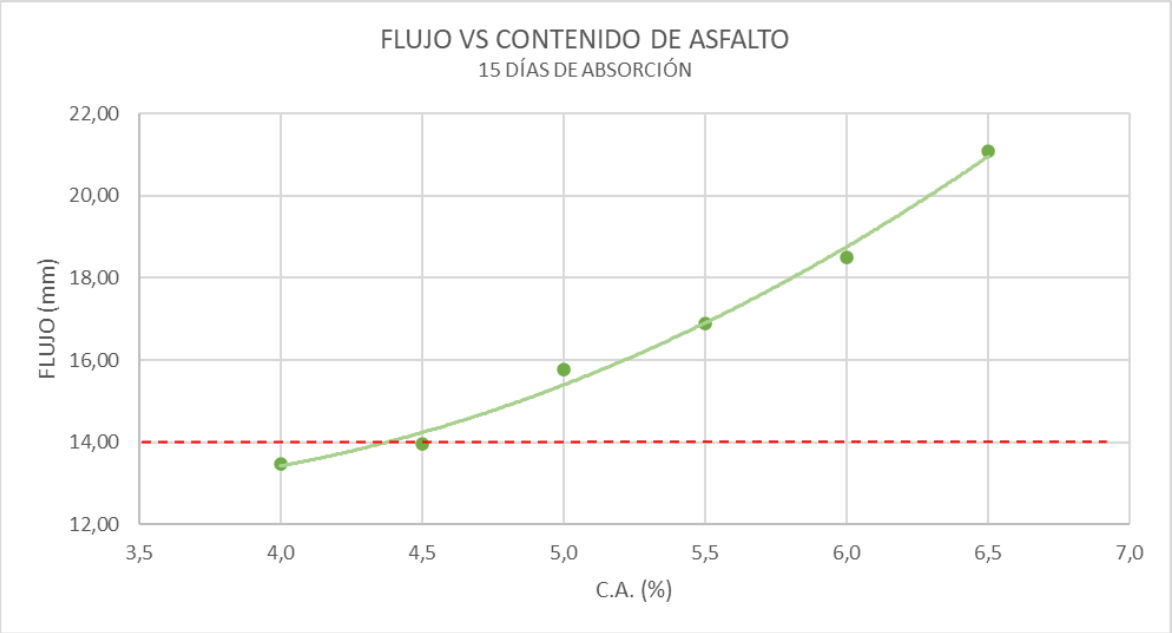
Relación de flujo y contenido de asfalto para 15 días de absorción

Flujo	13,49	13,95	15,77	16,90	18,50	21,08
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 82

Relación de flujo y contenido de asfalto para 15 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Se mantiene la tendencia ascendente observada en los días anteriores, donde el flujo aumenta conforme el contenido de asfalto crece. Este comportamiento indica que un mayor contenido de asfalto hace que la mezcla se vuelva más fluida con el paso del tiempo.

La línea roja horizontal representa un valor objetivo de flujo de aproximadamente 14 mm. Los valores de contenido de asfalto cercanos al 4.0% mantienen el flujo alrededor de este valor objetivo. Sin embargo, cuando el contenido de asfalto supera el 4.5%, el flujo aumenta considerablemente, lo que podría indicar que un exceso de asfalto hace que la mezcla sea demasiado fluida. Esto podría comprometer la estabilidad y resistencia de la mezcla, afectando su desempeño a largo plazo.

Tabla 160

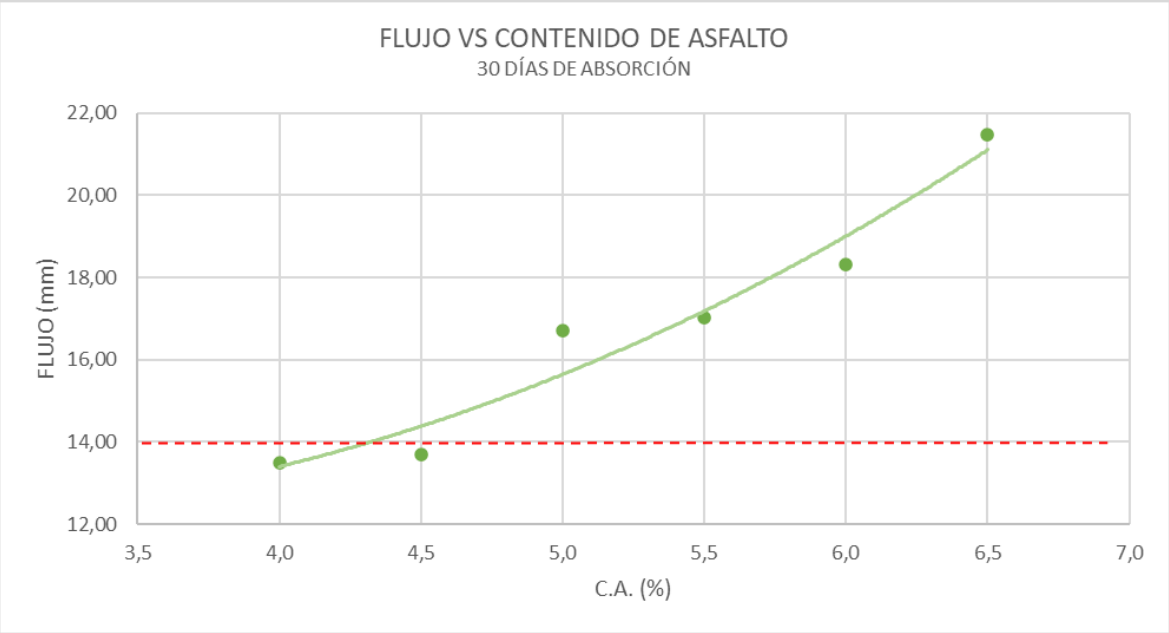
Relación de flujo y contenido de asfalto para 30 días de absorción

Flujo	13,50	13,70	16,72	17,02	18,30	21,46
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 83

Relación de flujo y contenido de asfalto para 30 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Al igual que en los días anteriores, se observa que el flujo aumenta de manera progresiva conforme aumenta el contenido de asfalto. Esto indica que a medida que se incrementa el contenido de asfalto, la mezcla se vuelve más fluida con el tiempo.

La línea roja horizontal marca un valor objetivo de flujo de aproximadamente 14 mm. Los contenidos de asfalto cercanos al 4.0% mantienen el flujo cerca de este valor, mientras que a partir del 4.5% en adelante, el flujo aumenta considerablemente. Este comportamiento sugiere que el exceso de asfalto puede generar una mezcla demasiado fluida, lo que podría afectar la estabilidad y resistencia de la mezcla asfáltica a largo plazo.

Tabla 161

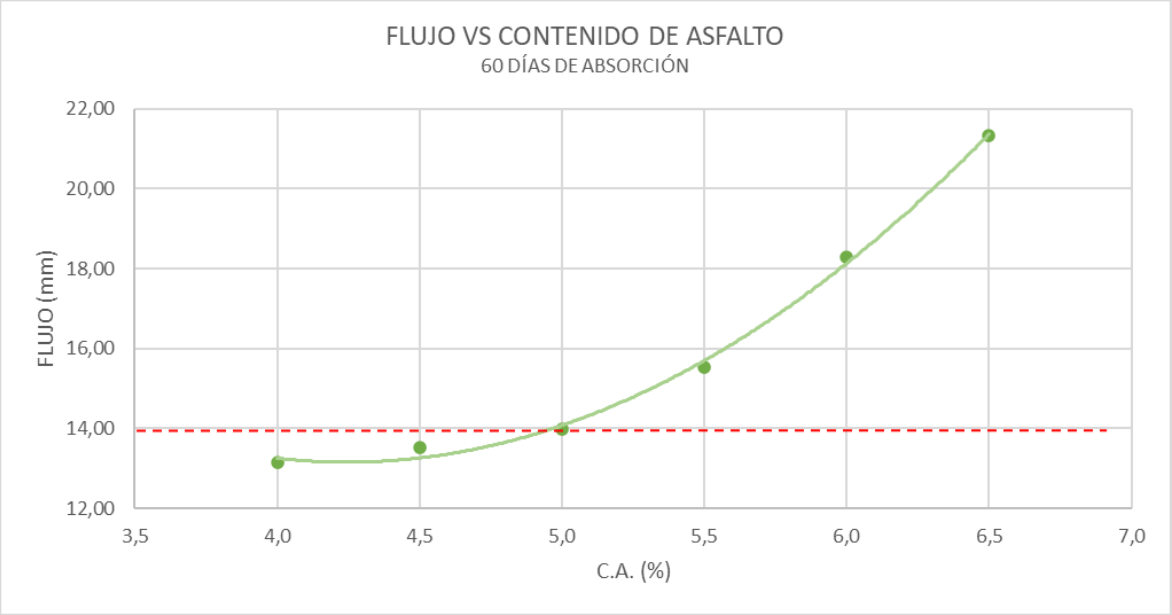
Relación de flujo y contenido de asfalto para 60 días de absorción

Flujo	13,15	13,52	13,97	15,52	18,29	21,33
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 84

Relación de flujo y contenido de asfalto para 60 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Al igual que en los días previos, el flujo aumenta progresivamente a medida que el contenido de asfalto crece, lo que indica que la mezcla se vuelve más fluida con el tiempo. La curva presenta una pendiente pronunciada, lo que sugiere que el contenido de asfalto tiene un efecto creciente sobre la fluidez de la mezcla a lo largo de los días.

La línea roja horizontal marca un valor objetivo de flujo de aproximadamente 14 mm. Los valores cercanos al 4.0% de contenido de asfalto mantienen el flujo dentro de este rango objetivo. A medida que el contenido de asfalto supera el 4.5%, el flujo aumenta considerablemente, lo que podría hacer que la mezcla sea demasiado fluida.

Tabla 162

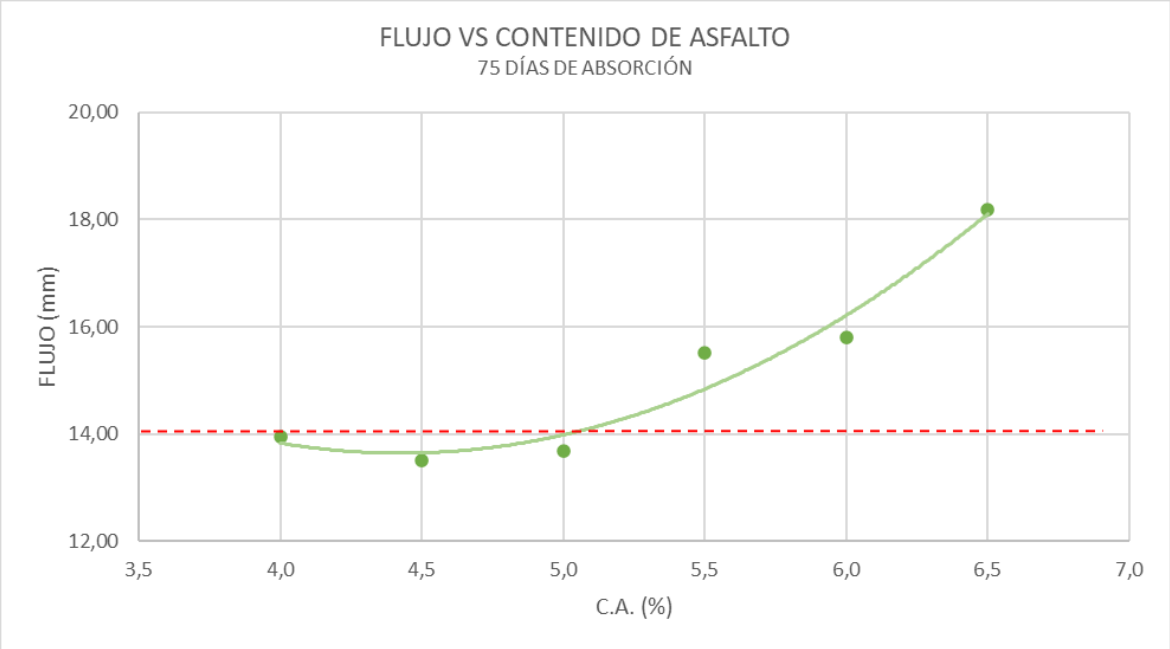
Relación de flujo y contenido de asfalto para 75 días de absorción

Flujo	13,94	13,51	13,68	15,52	15,80	18,18
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 85

Relación de flujo y contenido de asfalto para 75 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

A los 75 días de absorción, el flujo comienza en 13,94 a un 4.0% de contenido de asfalto y aumenta gradualmente, alcanzando 15,52 a un 5.5%. A partir de ahí, el flujo sigue incrementándose significativamente, alcanzando 18,18 a un 6.5%, lo que indica que la mezcla se está volviendo progresivamente más fluida. La línea roja horizontal marca un valor objetivo de flujo de aproximadamente 14 mm. Los valores cercanos al 4.0% de contenido de asfalto mantienen el flujo dentro de este rango objetivo, lo que sugiere que la mezcla tiene la viscosidad adecuada para garantizar su estabilidad y resistencia. Sin embargo, a medida que el contenido de asfalto supera el 4.5%, el flujo aumenta considerablemente.

Tabla 163

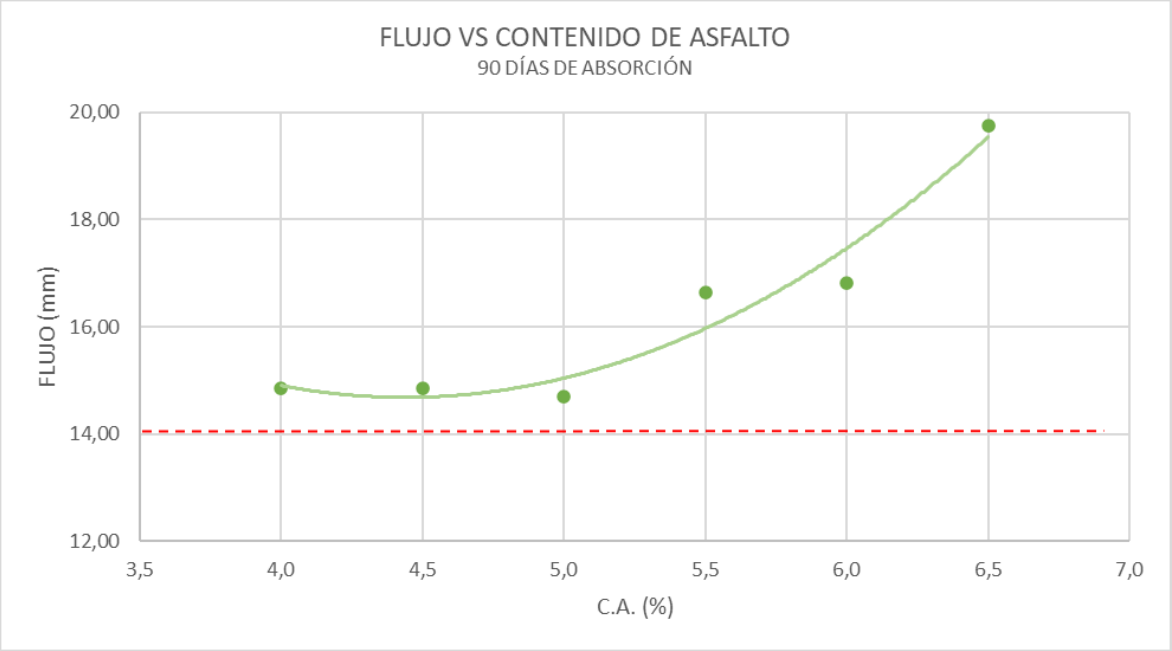
Relación de flujo y contenido de asfalto para 90 días de absorción

Flujo	14,85	14,85	14,70	16,65	16,81	19,76
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 86

Relación de flujo y contenido de asfalto para 90 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A los 90 días de absorción, el flujo comienza en 14,85 a un 4.0% de contenido de asfalto y se mantiene constante hasta el 4.5%, con un flujo ligeramente menor de 14,70 a un 5.0%. Sin embargo, a medida que el contenido de asfalto supera el 5.0%, el flujo aumenta de manera más pronunciada, alcanzando 16,65 a un 5.5% y 16,81 a un 6.0%. Al llegar al 6.5% de contenido de asfalto, el flujo alcanza su valor máximo de 19,76, indicando que la mezcla se vuelve considerablemente más fluida. La línea roja horizontal marca un valor objetivo de flujo de aproximadamente 14 mm. A los valores cercanos al 4.0% de contenido de asfalto, el flujo se mantiene dentro de este rango objetivo, lo que asegura que la mezcla tiene la viscosidad adecuada para su estabilidad. Sin embargo, a medida que el contenido de asfalto supera el 4.5%, el flujo aumenta considerablemente.

Tabla 164

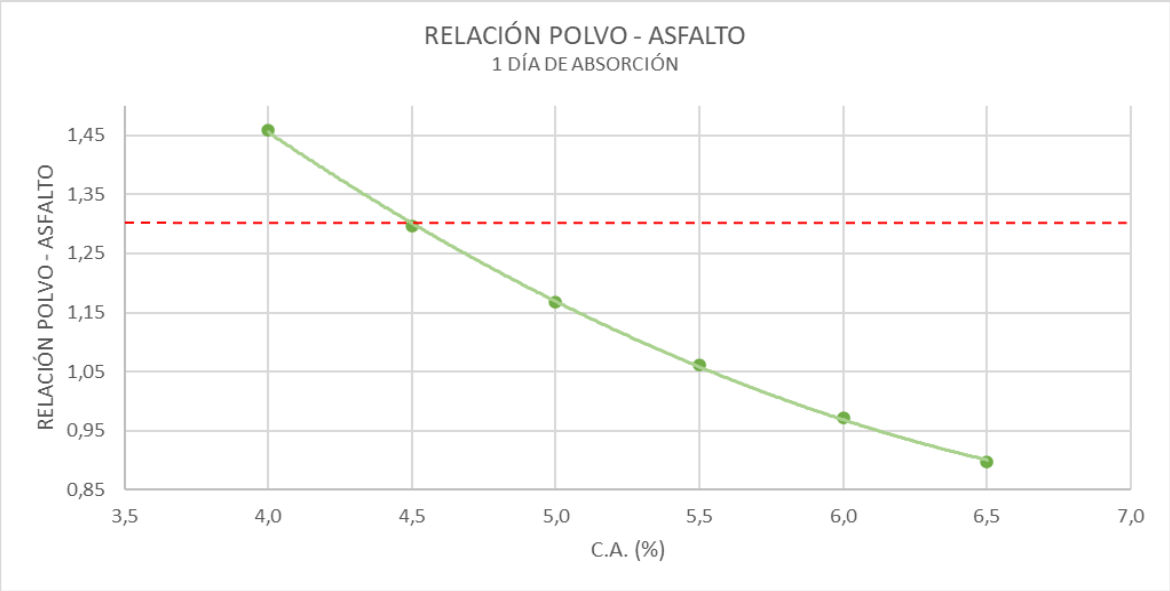
Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 1 día de absorción

Polvo/asfalto	1,46	1,30	1,17	1,06	0,97	0,90
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 87

Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 1 día de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

La línea roja horizontal marca un valor objetivo de relación polvo-asfalto alrededor de 1.25. Los valores de contenido de asfalto entre 4.0% y 5.0% mantienen la relación polvo-asfalto cerca de este objetivo, lo que puede ser ideal para lograr una mezcla balanceada. A medida que el contenido de asfalto supera el 5.0%, la relación polvo-asfalto sigue disminuyendo, lo que podría sugerir un exceso de asfalto que, si bien mejora la cohesión, podría afectar la resistencia y durabilidad de la mezcla si no se mantiene dentro de un rango adecuado.

Tabla 165

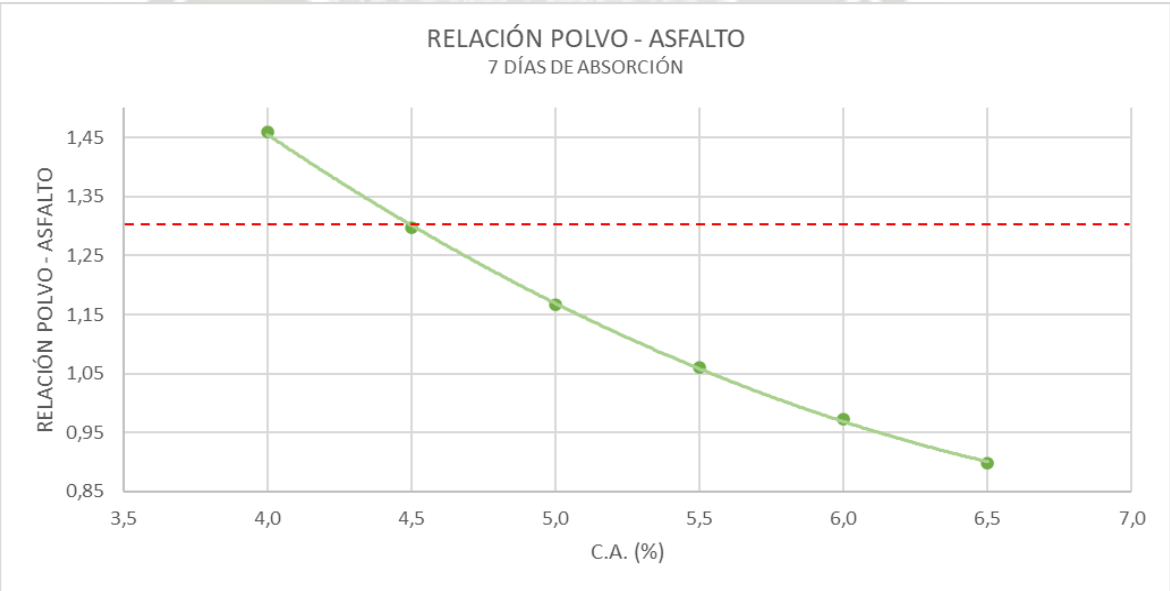
Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 7 días de absorción

Polvo/asfalto	1,46	1,30	1,17	1,06	0,97	0,90
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 88

Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 7 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Similar a la observación a un día de absorción, se ve que a medida que el contenido de asfalto aumenta, la relación polvo-asfalto disminuye. Esto indica que, al aumentar el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

contenido de asfalto, hay una menor cantidad de polvo en la mezcla, lo que puede contribuir a una mejor cohesión y densidad de la mezcla.

La línea roja horizontal marca un valor objetivo de relación polvo-asfalto de aproximadamente 1.25. Los contenidos de asfalto entre 4.0% y 5.0% mantienen la relación polvo-asfalto cerca de este valor ideal, lo que puede ser óptimo para asegurar una mezcla equilibrada. A medida que el contenido de asfalto excede este valor, la relación sigue disminuyendo, lo que podría sugerir que el exceso de asfalto mejora la cohesión, pero podría afectar negativamente la mezcla a largo plazo si se excede el nivel óptimo.

Tabla 166

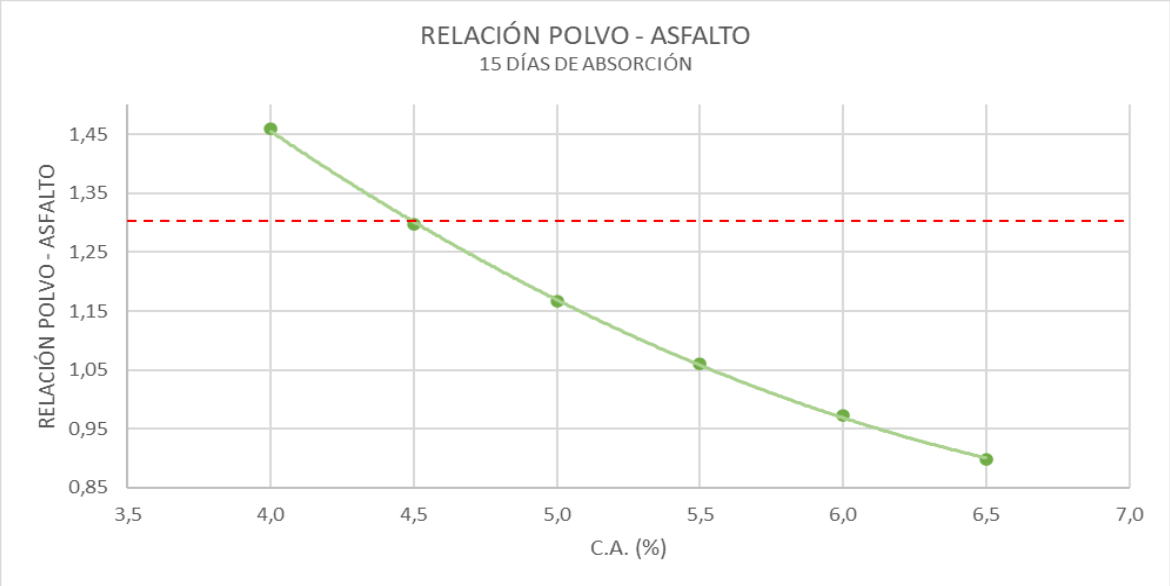
Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 15 días de absorción

Polvo/asfalto	1,46	1,30	1,17	1,06	0,97	0,90
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 89

Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 15 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

La línea roja horizontal marca el valor objetivo de relación polvo-asfalto en aproximadamente 1.25. Los contenidos de asfalto cercanos a 4.0% mantienen la relación polvo-asfalto cerca de este valor ideal. A medida que el contenido de asfalto supera este nivel, la relación polvo-asfalto sigue disminuyendo, lo que indica que un exceso de asfalto puede llevar a una mezcla más cohesiva, pero con una proporción muy baja de polvo, lo que podría afectar la resistencia y la durabilidad de la mezcla a largo plazo.

Tabla 167

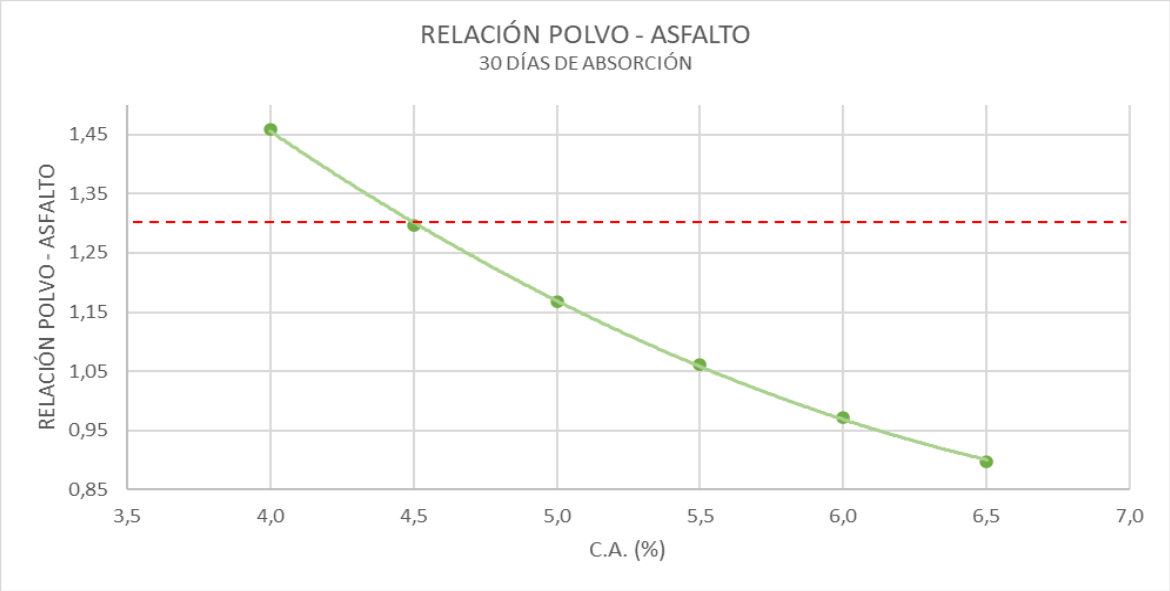
Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 30 días de absorción

Polvo/asfalto	1,46	1,30	1,17	1,06	0,97	0,90
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 90

Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 30 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Al igual que en las observaciones previas, se ve que la relación polvo-asfalto disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto, lo que sugiere que el aumento del asfalto reduce la cantidad de polvo en la mezcla, mejorando la cohesión y densidad de la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mezcla. La línea roja horizontal marca un valor objetivo de relación polvo-asfalto en aproximadamente 1.25. Los valores de contenido de asfalto cercanos al 4.0% mantienen la relación polvo-asfalto cerca de este objetivo. A medida que el contenido de asfalto supera este valor, la relación continúa disminuyendo, lo que podría implicar que un exceso de asfalto reduce la cantidad de polvo, afectando potencialmente las propiedades de la mezcla a largo plazo, aunque contribuye a mejorar la cohesión inicial.

Tabla 168

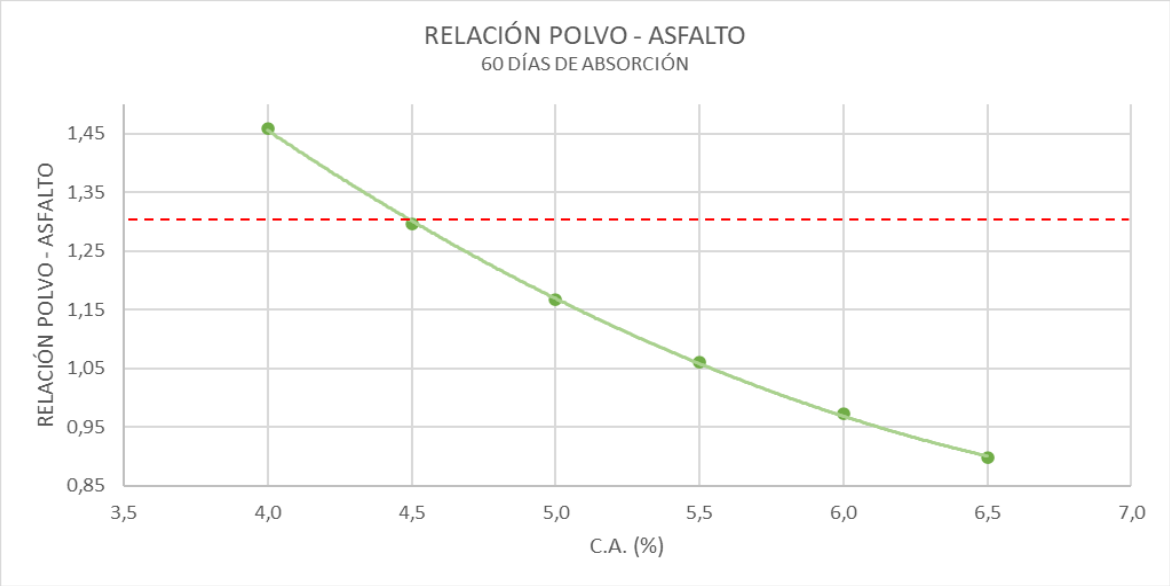
Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 60 días de absorción

Polvo/asfalto	1,46	1,30	1,17	1,06	0,97	0,90
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 91

Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 60 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Similar a las observaciones previas, la relación polvo-asfalto disminuye a medida que el contenido de asfalto aumenta. Esto indica que, con más asfalto en la mezcla, hay una menor cantidad de polvo, lo que podría contribuir a una mayor cohesión y densidad de la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

mezcla. La línea roja horizontal marca un valor objetivo de relación polvo-asfalto de aproximadamente 1.25. Los contenidos de asfalto cercanos al 4.0% mantienen la relación polvo-asfalto cerca de este valor. A medida que el contenido de asfalto supera el 5.0%, la relación polvo-asfalto disminuye de manera significativa, lo que podría indicar que, aunque la mezcla se vuelve más cohesionada, el exceso de asfalto podría afectar las propiedades de la mezcla a largo plazo, al reducir demasiado la proporción de polvo.

Tabla 169

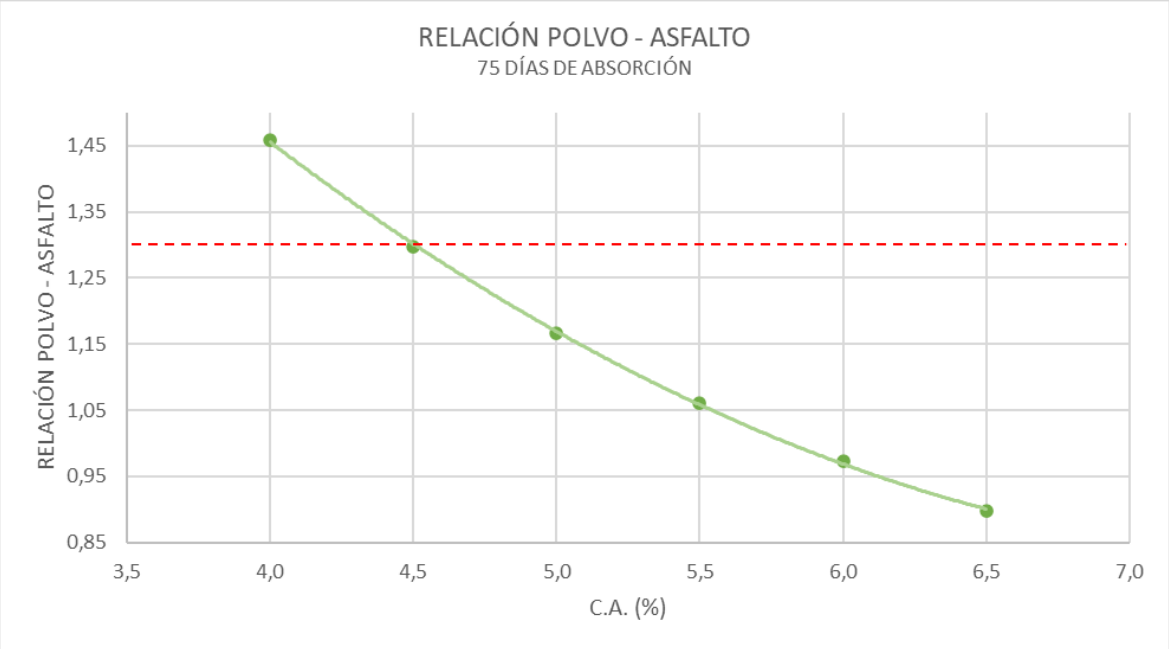
Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 75 días de absorción

Polvo/asfalto	1,46	1,30	1,17	1,06	0,97	0,90
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 92

Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 75 días de absorción



Nota: Elaboración propia

A los 75 días de absorción, la relación polvo/asfalto comienza en 1,46 a un 4.0% de contenido de asfalto y disminuye gradualmente, alcanzando 1,06 a un 5.5%. Finalmente, a

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

un 6.5% de contenido de asfalto, la relación llega a su valor más bajo de 0,90, lo que indica que la mezcla contiene una proporción significativamente menor de polvo en comparación con el asfalto.

La línea roja horizontal marca un valor objetivo de relación polvo/asfalto de aproximadamente 1.25, y se observa que los contenidos de asfalto cercanos al 4.0% mantienen la relación polvo/asfalto cerca de este valor. A medida que el contenido de asfalto supera el 5.0%, la relación polvo/asfalto disminuye de manera significativa, lo que podría indicar que, aunque la mezcla se vuelve más cohesionada, el exceso de asfalto podría afectar las propiedades de la mezcla a largo plazo.

Tabla 170

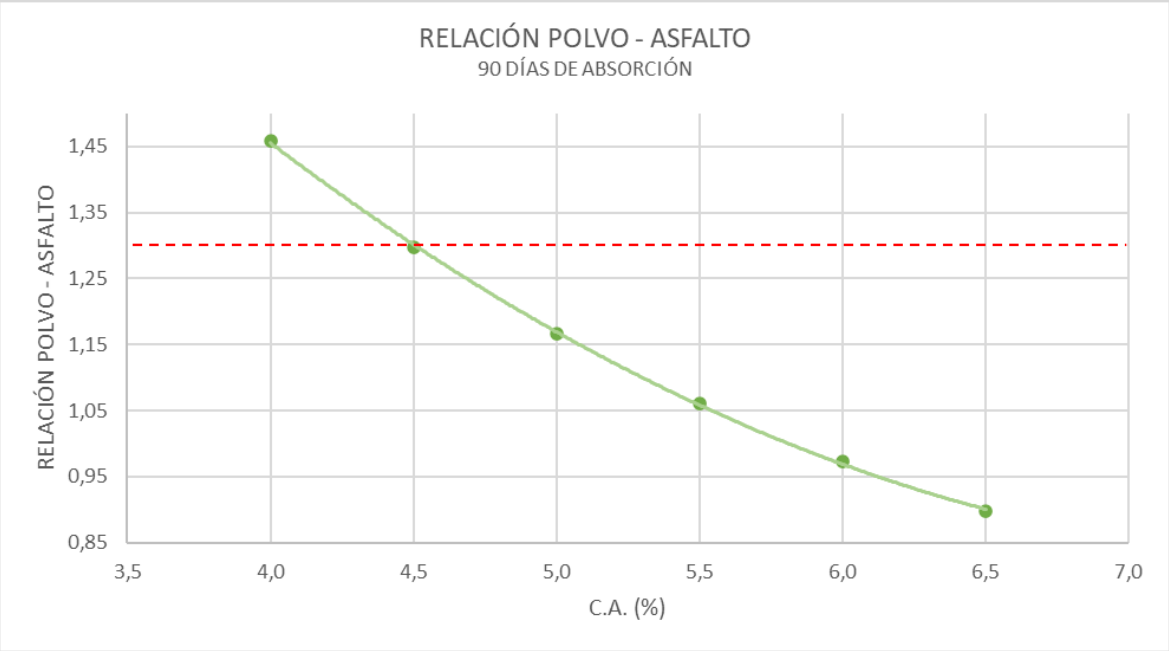
Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 90 días de absorción

Polvo/asfalto	1,46	1,30	1,17	1,06	0,97	0,90
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 93

Relación de polvo/asfalto y contenido de asfalto para 90 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

A los 90 días de absorción, la relación polvo/asfalto comienza en 1,46 a un 4.0% de contenido de asfalto y disminuye gradualmente, alcanzando 1,06 a un 5.5%. Finalmente, a un 6.5% de contenido de asfalto, la relación llega a su valor más bajo de 0,90.

La línea roja horizontal marca un valor objetivo de relación polvo/asfalto de aproximadamente 1.25. Los contenidos de asfalto cercanos al 4.0% mantienen la relación polvo/asfalto cerca de este valor, lo cual es ideal para mantener una mezcla equilibrada. A medida que el contenido de asfalto supera el 5.0%, la relación polvo/asfalto disminuye de manera significativa, lo que podría indicar que, aunque la mezcla se vuelve más cohesionada, el exceso de asfalto podría reducir demasiado la proporción de polvo.

Tabla 171

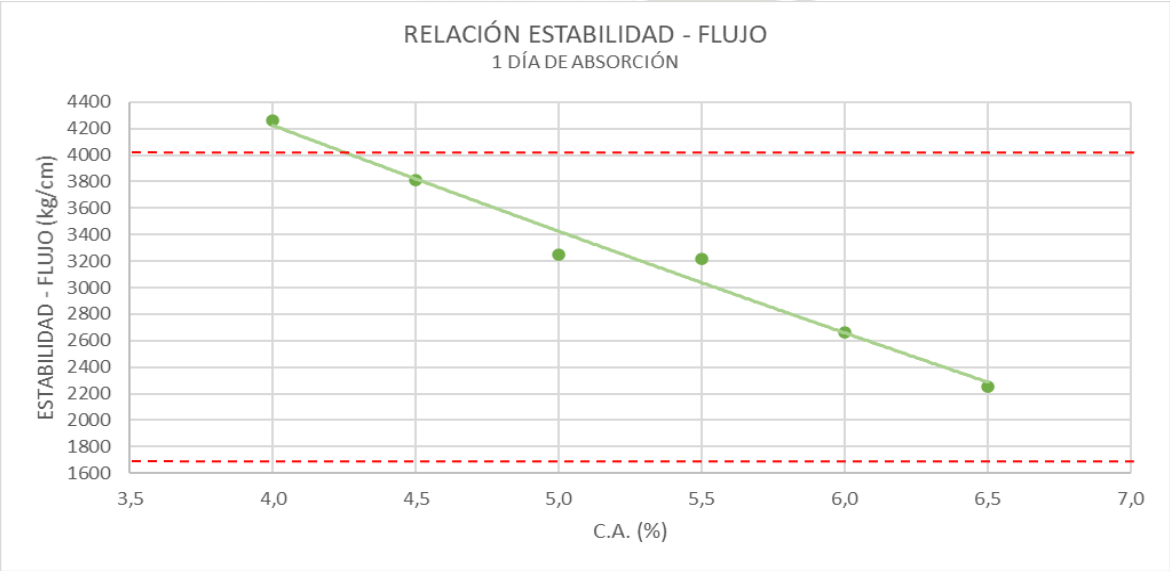
Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 1 día de absorción

Estabilidad - flujo	4262,12	3813,63	3249,30	3214,01	2662,37	2249,34
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 94

Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 1 día de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

La curva tiene una pendiente negativa, lo que sugiere que el exceso de asfalto compromete la capacidad de la mezcla para resistir la deformación bajo carga. Las líneas rojas horizontales marcan los valores objetivos para la estabilidad-flujo, que deben mantenerse dentro de un rango específico para asegurar una mezcla adecuada.

El contenido de asfalto alrededor del 4.0% mantiene la relación estabilidad-flujo dentro de este rango ideal, mientras que un contenido de asfalto mayor a este valor provoca una disminución de la estabilidad. Esto sugiere que un contenido de asfalto excesivo puede reducir la capacidad de la mezcla para resistir la carga, lo que podría afectar su rendimiento a largo

Tabla 172

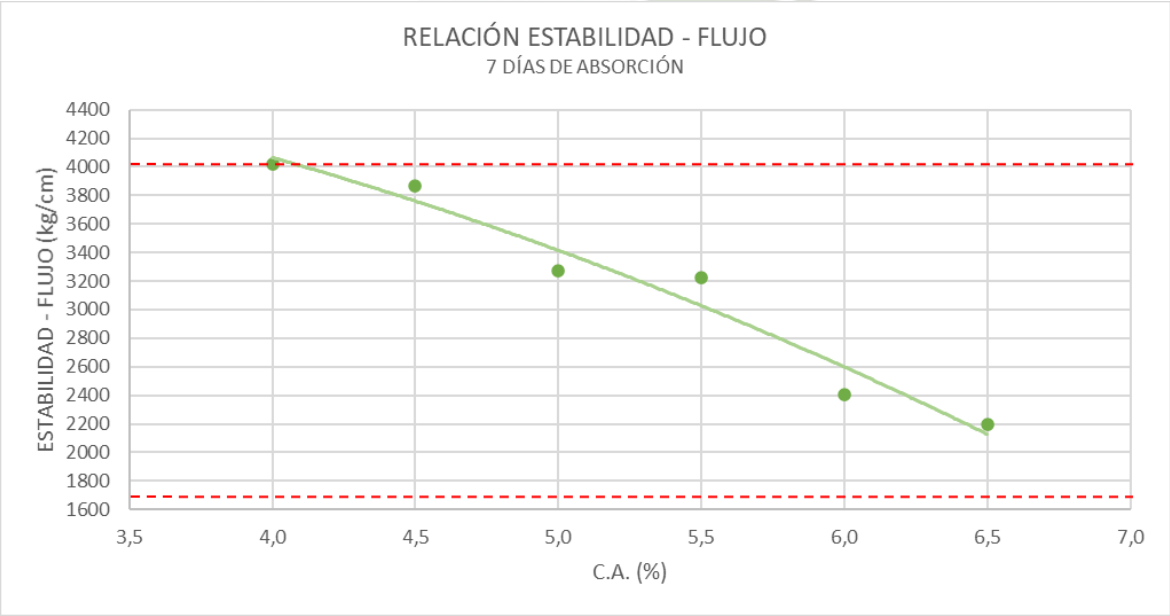
Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 7 días de absorción

Estabilidad - flujo	4022,92	3868,90	3275,42	3222,87	2406,01	2197,41
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 95

Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 7 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Se observa que la relación estabilidad-flujo sigue una tendencia descendente similar a la de un día de absorción, lo que indica que a medida que aumenta el contenido de asfalto, el flujo de la mezcla aumenta y, a su vez, su estabilidad disminuye. Este comportamiento sugiere que una mayor cantidad de asfalto hace que la mezcla se vuelva más fluida, reduciendo su resistencia a la deformación bajo carga.

Las líneas rojas horizontales marcan el valor objetivo para la relación estabilidad-flujo, y el contenido de asfalto alrededor del 4.0% mantiene la relación dentro de este rango ideal. Sin embargo, a medida que el contenido de asfalto supera este valor, la estabilidad disminuye.

Tabla 173

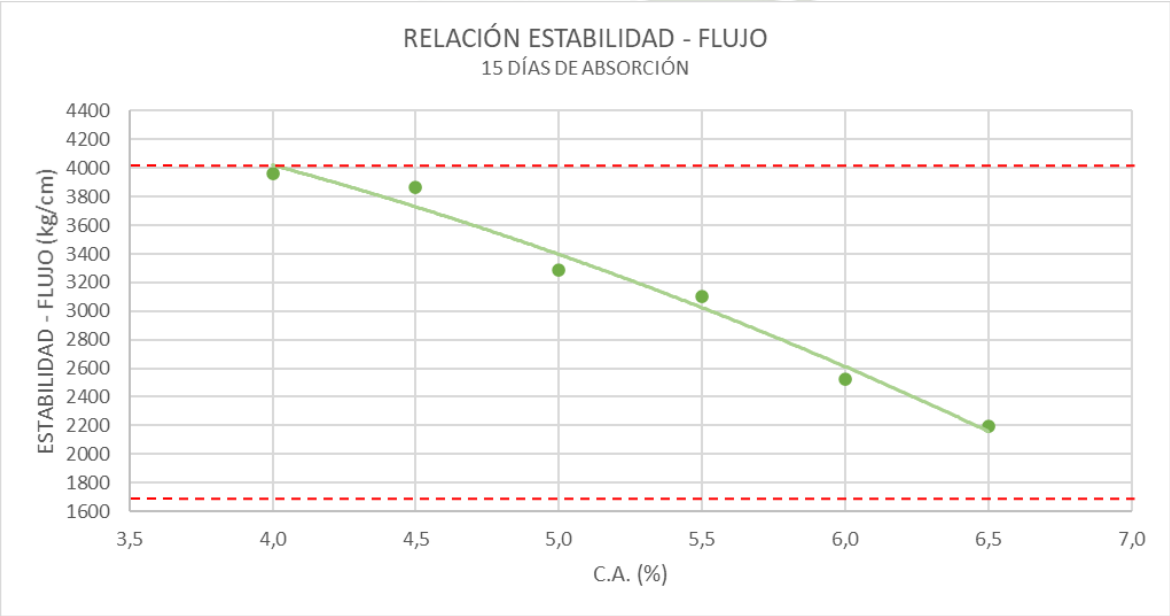
Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 15 días de absorción

Estabilidad - flujo	3964,95	3864,37	3288,11	3099,87	2524,69	2198,10
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 96

Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 15 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Al igual que en los días anteriores, se observa que la estabilidad disminuye y el flujo aumenta conforme el contenido de asfalto aumenta. Esta tendencia indica que la mezcla se vuelve más fluida a medida que se incrementa el asfalto, lo que resulta en una disminución de la estabilidad. Las líneas rojas horizontales marcan el valor objetivo de relación estabilidad-flujo, que debe mantenerse dentro de un rango adecuado para asegurar la calidad de la mezcla. El contenido de asfalto alrededor del 4.0% mantiene la relación dentro de este rango ideal. Sin embargo, cuando el contenido de asfalto supera este valor, la estabilidad disminuye significativamente, lo que podría afectar la resistencia de la mezcla a largo plazo, haciéndola más susceptible a la deformación.

Tabla 174

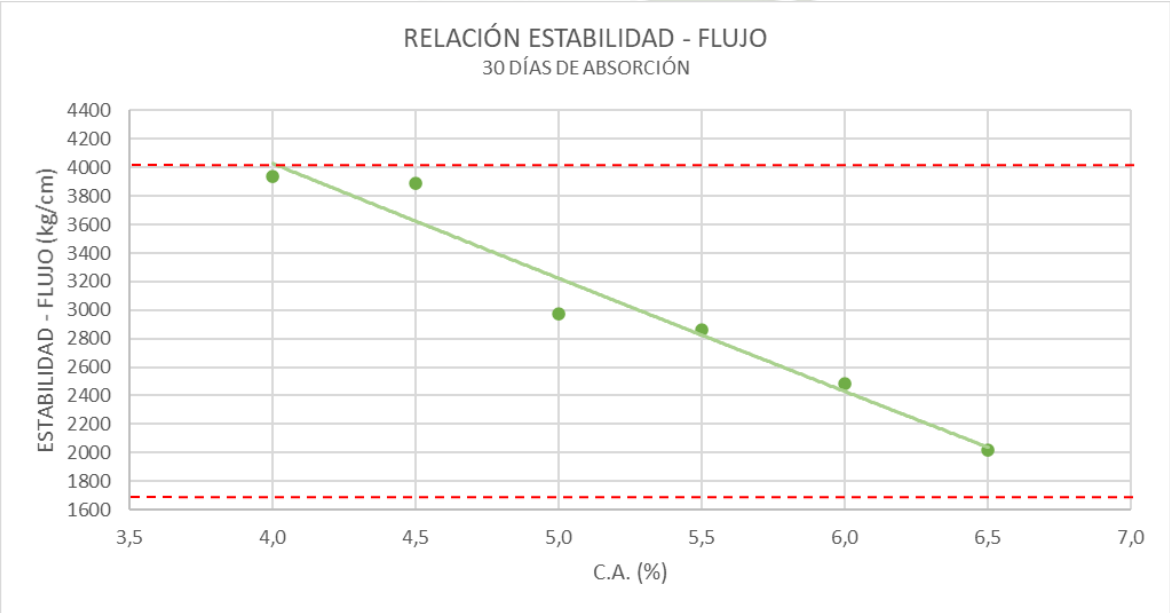
Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 30 días de absorción

Estabilidad - flujo	3939,50	3890,35	2970,36	2860,18	2484,42	2017,38
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 97

Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 30 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Al igual que en los días anteriores, la estabilidad disminuye a medida que el contenido de asfalto aumenta, mientras que el flujo de la mezcla aumenta. Esto sugiere que a medida que el contenido de asfalto se incrementa, la mezcla se vuelve más fluida y pierde estabilidad, lo que puede comprometer su rendimiento.

Las líneas rojas horizontales marcan un valor objetivo para la relación estabilidad-flujo, y el contenido de asfalto alrededor del 4.0% mantiene la relación dentro de este rango ideal. Sin embargo, a medida que el contenido de asfalto supera este valor, la estabilidad continúa disminuyendo, lo que indica que un exceso de asfalto puede hacer que la mezcla sea menos resistente a la deformación y más susceptible a daños a largo plazo.

Tabla 175

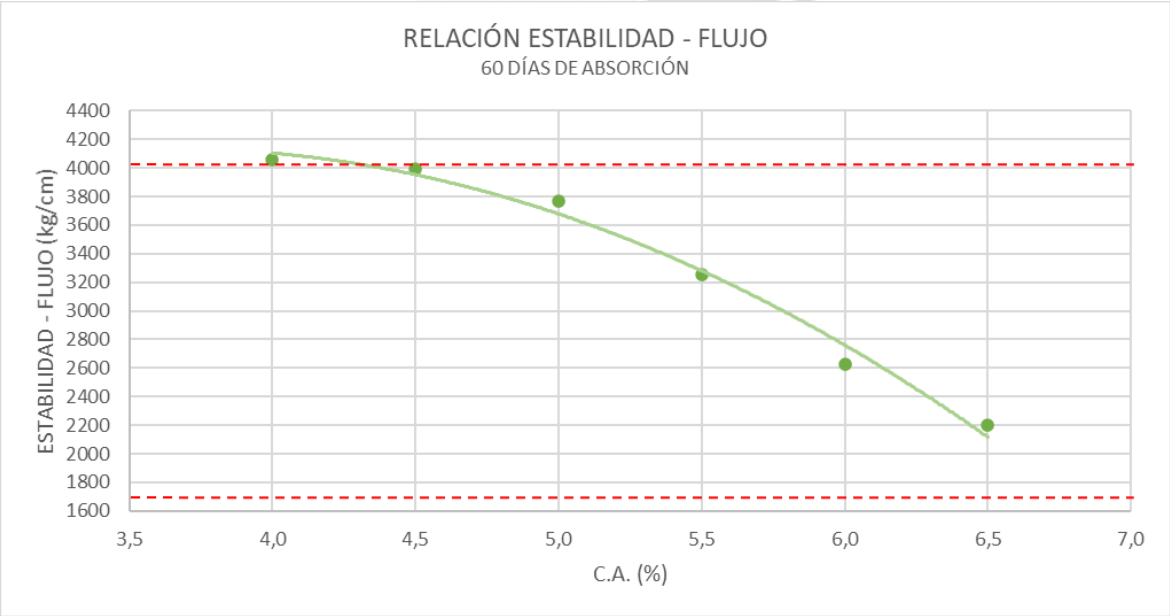
Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 60 días de absorción

Estabilidad - flujo	4055,34	3989,46	3771,15	3253,25	2624,43	2198,18
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 98

Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 60 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Al igual que en los días anteriores, la estabilidad disminuye a medida que el contenido de asfalto aumenta, mientras que el flujo de la mezcla aumenta. Esto indica que un mayor contenido de asfalto hace que la mezcla se vuelva más fluida y menos estable.

Las líneas rojas horizontales marcan el valor objetivo para la relación estabilidad-flujo. El contenido de asfalto alrededor del 4.0% mantiene la relación dentro de este rango ideal, mientras que valores más altos de contenido de asfalto provocan una disminución de la estabilidad. Esto sugiere que un contenido excesivo de asfalto podría afectar la resistencia de la mezcla a largo plazo, haciéndola más susceptible a la deformación bajo carga.

Tabla 176

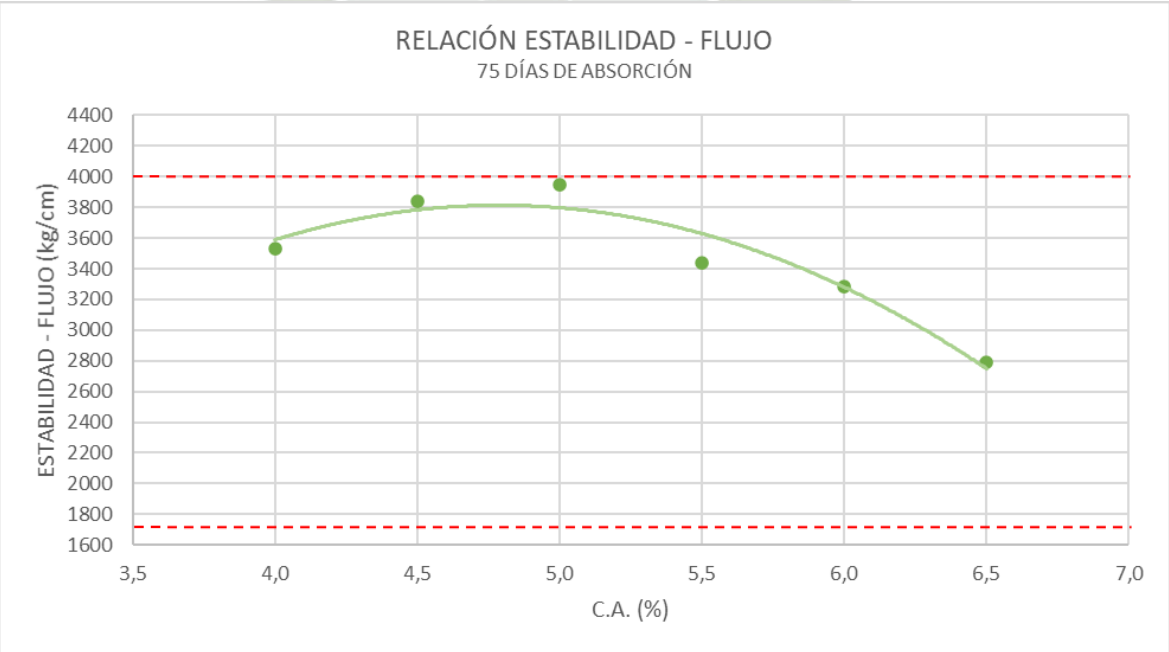
Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 75 días de absorción

Estabilidad - flujo	3528,44	3838,87	3950,57	3437,01	3283,35	2790,09
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 99

Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 75 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A los 75 días de absorción, la relación de estabilidad-flujo comienza en 3528,44 a un 4.0% de contenido de asfalto y sigue aumentando progresivamente, alcanzando 3950,57 a un 5.0%. Sin embargo, a medida que el contenido de asfalto supera el 5.0%, la relación de estabilidad-flujo disminuye notablemente, llegando a su valor más bajo de 2790,09 a un 6.5%. Las líneas rojas horizontales marcan el valor objetivo para la relación estabilidad-flujo, y se observa que el contenido de asfalto alrededor del 4.0% mantiene la relación dentro de este rango ideal. A medida que el contenido de asfalto aumenta más allá del 4.0%, la relación comienza a disminuir, indicando que la mezcla se vuelve más fluida pero menos estable.

Tabla 177

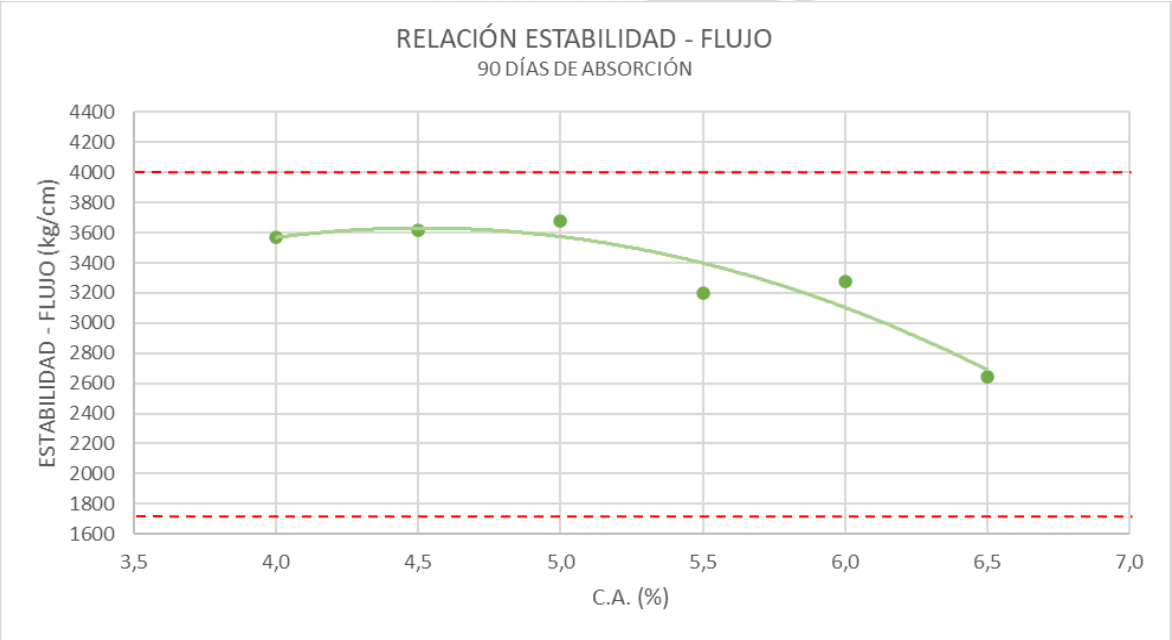
Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 90 días de absorción

Estabilidad - flujo	3568,37	3614,54	3675,17	3195,41	3273,11	2640,08
C.A. (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Nota: Elaboración propia

Figura 100

Relación de estabilidad - flujo y contenido de asfalto para 90 días de absorción



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A los 90 días de absorción, la relación estabilidad-flujo comienza en 3568,37 a un 4.0% de contenido de asfalto y aumenta progresivamente hasta alcanzar 3675,17 a un 5.0%. Sin embargo, a medida que el contenido de asfalto supera el 5.0%, la relación disminuye considerablemente, alcanzando 2640,08 a un 6.5%.

Las líneas rojas horizontales marcan el valor objetivo para la relación estabilidad-flujo, y se observa que el contenido de asfalto alrededor del 4.0% mantiene la relación dentro de este rango ideal. A medida que el contenido de asfalto aumenta más allá del 5.0%, la relación disminuye, lo que indica que la mezcla se vuelve más fluida pero menos estable. Esto sugiere que un exceso de asfalto podría afectar la resistencia de la mezcla a largo plazo, haciéndola más susceptible a la deformación bajo carga.

5.2. Análisis de correlación

Tabla 178

Relación de días absorción con la razón de esfuerzo a tensión

Días	Razón de esfuerzo a tensión
1	94,93
7	93,90
15	93,85
30	94,04
60	94,60
75	95,30
90	95,46

Nota: Elaboración propia

A medida que los días de absorción aumentan, la razón de esfuerzo a tensión experimenta una tendencia ascendente, lo que indica que la mezcla se vuelve más resistente a la tensión con el paso del tiempo. En los primeros días, a 1 día de absorción, la razón de esfuerzo a tensión es de 94,93. A medida que avanzan los días, la razón disminuye ligeramente, alcanzando su valor más bajo de 93,85 a los 15 días, pero luego comienza a aumentar nuevamente. Al llegar a los 60 días de absorción, la razón sube a 94,60 y continúa incrementándose hasta llegar a 95,46 a los 90 días.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Este comportamiento sugiere que la mezcla se va fortaleciendo con el tiempo, aumentando su capacidad para resistir esfuerzos a la tensión. El aumento progresivo en la razón de esfuerzo a tensión a lo largo de los 90 días refleja que la mezcla está mejorando su cohesión y resistencia, lo que contribuye a su estabilidad y durabilidad a largo plazo.

Tabla 179.

Correlación entre días absorción con la razón de esfuerzo a tensión

Rho de Pearson		Razón de esfuerzo a tensión
Días de absorción	Coeficiente	.719**
	Significancia	.000
	N	7

**. La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

Nota: Resultados obtenidos por SPSS

La correlación entre los días de absorción y la razón de esfuerzo a tensión es de 0.719, lo que indica una relación positiva moderada a fuerte entre ambas variables. Esto sugiere que, a medida que aumentan los días de absorción, también lo hace la razón de esfuerzo a tensión, lo que refleja un aumento en la capacidad de la mezcla para resistir esfuerzos a la tensión con el paso del tiempo.

La significancia de 0.000 (menor que el nivel de significancia de 0.01) indica que la correlación es estadísticamente significativa, lo que refuerza la validez de esta relación. En otras palabras, la tendencia observada en los datos no es producto del azar, y los días de absorción tienen un efecto real sobre la mejora en la resistencia a la tensión de la mezcla.

Tabla 180

Relación de días absorción con el índice de resistencia

Días	Índice de resistencia
1	86,99
7	91,23
15	93,52
30	91,82
60	90,95
75	97,57
90	95,50

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A lo largo de los días de absorción, el índice de resistencia presenta fluctuaciones, lo que sugiere que la mezcla experimenta variaciones en su resistencia a medida que el proceso de absorción progresa. Al inicio, en el día 1, el índice de resistencia es de 86,99, y aumenta gradualmente hasta alcanzar 93,52 a los 15 días. Sin embargo, a los 30 y 60 días, el índice disminuye a 91,82 y 90,95, respectivamente, lo que podría indicar una leve pérdida de resistencia durante esa fase de absorción.

A partir de los 75 días, el índice de resistencia aumenta significativamente, alcanzando 97,57, lo que sugiere que la mezcla se ha fortalecido considerablemente después de este período de absorción. Aunque el índice disminuye ligeramente a los 90 días (95,50), sigue siendo bastante alto en comparación con los valores iniciales. Este comportamiento refleja que el proceso de absorción contribuye a mejorar la resistencia de la mezcla con el tiempo, y que la mezcla alcanza una estabilidad óptima en términos de resistencia a partir de los 75 días de absorción.

Tabla 181.

Correlación entre días absorción con el índice de resistencia

Rho de Pearson		Índice de resistencia
Días de absorción	Coeficiente	.737**
	Significancia	.000
	N	7

**. La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

Nota: Resultados obtenidos por SPSS

La correlación entre los días de absorción y el índice de resistencia es de 0.737, lo que indica una relación positiva moderada a fuerte entre ambas variables. Esto sugiere que, a medida que aumenta el tiempo de absorción, también lo hace el índice de resistencia, lo que implica que la mezcla se vuelve más resistente con el paso de los días de absorción.

La significancia de 0.000 (menor que el nivel de significancia de 0.01) indica que esta correlación es estadísticamente significativa. Esto significa que la relación observada

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

no es fruto del azar, y los días de absorción tienen un impacto real en el incremento del índice de resistencia de la mezcla. En resumen, el proceso de absorción contribuye al fortalecimiento de la mezcla, lo que se refleja en el aumento del índice de resistencia a lo largo del tiempo.

5.3. Evaluación del impacto de los tiempos de absorción de los agregados en la densidad de las mezclas asfálticas

El estudio aborda cómo la absorción de los agregados impacta la densidad teórica máxima de las mezclas asfálticas mediante el uso del ensayo Rice. Este ensayo se utiliza para determinar la gravedad específica máxima de las mezclas asfálticas, un parámetro esencial para el diseño y la calidad de pavimentos. La influencia del tiempo de absorción en los agregados es particularmente importante en áreas con condiciones climáticas variables, como la ciudad de Arequipa, donde los cambios de humedad afectan significativamente la absorción de agua por los agregados.

La densidad teórica máxima analítica se calcula utilizando un modelo basado en las características físicas y la distribución de partículas de los agregados. Este método, aunque preciso en condiciones controladas, no refleja siempre con exactitud el comportamiento real de las mezclas bajo condiciones de absorción prolongada, especialmente cuando los agregados retienen agua. En contraste, la densidad teórica con Rice se obtiene al someter la mezcla asfáltica a un vacío que elimina el aire atrapado en los espacios porosos de los agregados y permite evaluar la densidad en condiciones más representativas de la práctica, incluyendo el efecto de la absorción de agua.

Los resultados del estudio muestran que a medida que el tiempo de absorción de los agregados aumenta, la densidad de la mezcla asfáltica también aumenta. En los primeros días de absorción (1 día), el incremento en la gravedad específica es moderado, pero conforme el tiempo de absorción llega a los 60 días, se observa un aumento más

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

pronunciado. Por ejemplo, en las pruebas de 1 día de absorción, la densidad teórica máxima medida con Rice para un contenido de asfalto del 4.0% fue de 2.467 g/cm³, mientras que después de 60 días de absorción, el valor se incrementó a 2.516 g/cm³. Este cambio indica que el agregado ha absorbido más agua, lo que aumenta su volumen y, en consecuencia, la densidad de la mezcla.

Otro dato importante es que en el ensayo Rice, la diferencia entre las mediciones de la densidad teórica con y sin la influencia de la absorción muestra un claro impacto del tiempo de saturación. Por ejemplo, con un contenido de asfalto del 4.0%, la densidad a 30 días de absorción fue 2.491 g/cm³, mientras que a 90 días el valor alcanzó 2.506 g/cm³, lo que confirma que la saturación con agua afecta directamente la capacidad de compactación de la mezcla.

En términos de absorción de agua, los agregados muestran una capacidad de absorción creciente con el tiempo. En el caso de los agregados finos, la absorción fue de 0,50% a 1 día de absorción, aumentando a 0,90% a 60 días. Este aumento en la absorción es relevante, ya que un mayor porcentaje de absorción de agua puede requerir ajustes en la dosificación de asfalto, ya que los agregados más absorbentes tienden a necesitar más asfalto para asegurar una correcta cohesión y evitar que el material pierda estabilidad bajo condiciones de tráfico y climatología variable.

Los resultados de estabilidad Marshall también refuerzan la influencia del tiempo de absorción. Para las muestras con 4.0% de contenido de asfalto, la estabilidad corregida aumentó de 12.39 kN a 12.58 kN en las pruebas realizadas con 1 día de absorción, mientras que para las muestras a 30 días de absorción, el valor fue de 13.05 kN. Esto sugiere que la mezcla con mayor tiempo de absorción muestra una mayor resistencia a la deformación bajo carga, un factor crucial para la durabilidad de los pavimentos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La relación entre estabilidad y fluencia también mostró una variación según el tiempo de absorción. Para los primeros días, la relación fue de 4262.1 kgf/cm, mientras que a 60 días de absorción, el valor aumentó a 4532.6 kgf/cm. Esta tendencia indica que el comportamiento plástico de la mezcla se estabiliza y mejora con el tiempo de saturación, lo que contribuye a la adaptabilidad de la mezcla a las condiciones de carga dinámicas y las fluctuaciones térmicas a las que los pavimentos están expuestos.

Es importante destacar que el ensayo Rice refleja con mayor precisión cómo la absorción de agua por los agregados influye en la densidad de la mezcla asfáltica, haciendo que los resultados de la densidad máxima teórica calculada por este ensayo sean más confiables cuando se evalúa el impacto del tiempo de absorción. Los resultados obtenidos confirman que los agregados más absorbentes afectan tanto la densidad de la mezcla como la cantidad de asfalto necesario para lograr una mezcla homogénea, lo que tiene un impacto directo en la durabilidad y resistencia de las mezclas asfálticas.

En conclusión, la densidad teórica máxima analítica subestima el impacto real de la absorción de agua sobre las propiedades de la mezcla asfáltica, mientras que la densidad teórica con Rice, mediante su simulación de condiciones más representativas del comportamiento del material, muestra con mayor precisión cómo los tiempos de absorción incrementan la densidad y afectan la mezcla. Esto destaca la importancia de controlar la absorción de los agregados en la optimización del diseño de mezclas asfálticas, especialmente en regiones con variabilidad climática y condiciones de tráfico exigentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

Primera: La variación de la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica está directamente relacionada con los tiempos de absorción de los agregados. A medida que el tiempo de absorción aumenta, se observa un incremento en la densidad de la mezcla, indicando que los agregados absorben asfalto, lo que afecta la compactación y la consistencia final de la mezcla. Los resultados del ensayo de gravedad específica Rice muestran que los tiempos de absorción de 1, 7, 15, 30, 60, 75 y 90 días impactan de manera significativa en la estructura de la mezcla asfáltica, aumentando la gravedad específica máxima conforme se incrementa la absorción, máxima conforme se incrementa la absorción dentro de los 30 primeros días, llegando a un punto constante a partir de los 75 días.

Segunda: Los agregados utilizados en la mezcla asfáltica fueron caracterizados según lo especificado en la norma EG 2013. Los resultados de los análisis granulométricos muestran que los agregados presentan una distribución adecuada para la mezcla, con un 100% de las partículas pasando a través de los tamices de mayor tamaño (1" y 3/4") y con la mayor parte del material concentrado en las fracciones finas. La absorción de agua en los agregados, medida por el aumento de peso durante el período de saturación, varió entre un 0.46% y un 0.50%, lo que indica que los agregados tienen una capacidad moderada para absorber agua. Estos valores son cruciales para entender cómo los agregados afectan la densidad y la resistencia de la mezcla.

Tercera: Los resultados muestran que la absorción de asfalto en los agregados aumenta conforme se incrementa el tiempo de secado. Al analizar la absorción para períodos de 1, 7, 15, 30, 60, 75 y 90 días, se observó una relación directa entre el tiempo de secado y la capacidad de absorción. Por ejemplo, la absorción de la muestra con 4.5% de asfalto para 1 día fue de 0.50%, mientras que, para 60 días de absorción, esta cifra se incrementó a 0.56%. Estos datos confirman que los agregados absorben más asfalto conforme el tiempo de secado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

aumenta, lo cual tiene un impacto directo en la cantidad de asfalto necesario para mantener la cohesión y la durabilidad de la mezcla.

Cuarta: Valores elevados de la relación estabilidad/flujo indicaron un aumento de la rigidez estructural de la mezcla, lo cual mejora la resistencia a la carga, pero incrementa la susceptibilidad a la fisuración. La reducción de la resistencia a la tracción indirecta evidenció que el aumento de la absorción del agregado compromete la cohesión interna de la mezcla y su capacidad para resistir esfuerzos de tracción. El índice de inmersión/compresión se confirmó como un indicador sensible al fenómeno de absorción del agregado, mostrando una disminución significativa a mayores tiempos de absorción, lo que evidencia una mayor susceptibilidad al daño por humedad.

Quinta: El análisis conjunto de la gravedad especifica máxima, relación estabilidad/flujo, tracción indirecta e inmersión/compresión permitió evaluar de manera integral el balance entre rigidez, cohesión y durabilidad de las mezclas asfálticas, destacando la importancia de controlar el tiempo de absorción del agregado durante el diseño y la evaluación de mezclas asfálticas en caliente.

Sexta: Se observa que el aumento de la gravedad específica máxima es progresivo conforme se incrementa el tiempo de absorción; sin embargo, llega un punto donde este incremento se estabiliza y la gravedad específica máxima tiende a mantenerse constante; según los resultados, esto se manifiesta entre los 75 y 90 días de absorción, por lo que se puede concluir que en este tiempo la mezcla alcanza su mayor valor de compactación y porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada; parámetro que resulta crucial para el diseño de pavimentos duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

Primera: Dado que la variación de la gravedad específica máxima está relacionada con los tiempos de absorción de los agregados, se recomienda ajustar los tiempos de secado y la humedad de los agregados de acuerdo con las condiciones climáticas específicas de la región donde se utilizarán las mezclas asfálticas. Un control más preciso de la absorción durante la producción de las mezclas puede mejorar la consistencia y la densidad de la mezcla final, lo que incrementará la durabilidad y resistencia del pavimento.

Segunda: Es crucial que los agregados utilizados en la mezcla sean cuidadosamente seleccionados y caracterizados, especialmente en cuanto a su granulometría, absorción y resistencia. Se recomienda realizar un análisis detallado de los agregados locales antes de ser incorporados en la mezcla, asegurando que cumplan con las especificaciones técnicas necesarias para garantizar la calidad de la mezcla asfáltica. Además, se debe considerar el uso de agregados con una absorción moderada para evitar que la mezcla sea demasiado porosa y poco resistente.

Tercera: Se recomienda realizar investigaciones en donde se analice de manera más exhaustiva la relación entre la absorción asfáltica de los agregados con las características mecánicas de la mezcla asfáltica en el tiempo, de manera que pueda implementarse como consideración en la normativa el tiempo transcurrido entre la elaboración de la mezcla y la puesta a servicio de la estructura, para evitar fallas tempranas de la misma. Además, se sugiere revisar la normativa y ajustar los tiempos de secado según las condiciones locales para optimizar el rendimiento de la mezcla asfáltica.

Cuarta: Con base en los resultados obtenidos, se recomienda ajustar la proporción de asfalto según el tiempo de absorción de los agregados. Se debe tener en cuenta que, a mayor absorción de los agregados, se requiere mayor cantidad de asfalto para garantizar la cohesión adecuada y evitar la segregación de la mezcla. Para maximizar la eficiencia del

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

diseño de la mezcla, se debe realizar un ensayo de gravedad específica Rice para cada lote de mezcla, especialmente cuando se utilizan diferentes Notas de agregados o cuando el tiempo de absorción varía significativamente.

Quinta: Dado que se ha establecido una relación directa entre la gravedad específica máxima y los tiempos de absorción, se recomienda ajustar el tiempo de puesta a servicio después de la fase de producción y mezcla para controlar el comportamiento final de la mezcla asfáltica. La manipulación del tiempo de absorción puede ser una herramienta eficaz para obtener una mezcla más homogénea y de mayor calidad. Además, es aconsejable realizar un seguimiento constante de la absorción del agregado en diferentes épocas del año, especialmente en temporadas lluviosas, para adaptarse a las variaciones climáticas y obtener resultados consistentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS

Aceros Guasca, D. H. (2022). *Caracterización de agregados pétreos para mezclas asfálticas mediante análisis petrográficos y procesamiento de imágenes.* Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81603

Aldazabal, A. (16 de marzo de 2019). CCL: el 80% de carreteras del Perú están dañadas. *El Comercio*. Obtenido de https://diariocorreo.pe/economia/ccl-el-80-de-las-carreteras-del-peru-esta-en-mal-estado-876224/

American Association of State Highway and Transportation Test Procedure 57 (01 de enero de 2006). https://store.transportation.org/Item/PublicationDetail?ID=4878

ASTM D2041 Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures (2019). DOI 10.1520/D2041-03ª

ASTM D4791 Método de ensayo estándar para partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas en áridos gruesos (2019). DOI 10.1520/D4791-19

ASTM D6929 Práctica estándar para la preparación de muestras de mezcla asfáltica utilizando el aparato Marshall (2020). DOI 10.1520/D6926-20

Bareño, V., Rojas, D., & Aponte , D. (2021). *Construccion del aparato Micro Deval paa la determinación del desgaste a la abrasión por fricción de los agregados utilizados en capas de pavimentos.* Tesis de grado, Universidad Piloto de Colombia, Bogota. Obtenido de http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10297

Bareño, V., Rojas, D., & Aponte, D. (2021). *Construccion del aparato Micro Deval paa la determinación del desgaste a la abrasión por fricción de los agregados utilizados en capas de pavimentos.* Tesis de grado, Universidad piloto de Colombia, Bogota. Obtenido de https://repository,unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10297

Barreno, R., & Valarezo, L. (2025). *Comparación técnica de propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente con los siguientes aditivos: polímero RET, SBS, SBR, alofán puro y organosilanos*. Tesis de grado, Universidad central del Ecuador, Quito. Obtenido de https://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/37784

Bejarano, L. (2007). *Análisis estructural de un pavimento flexible con presencia de deterioro, por medio de deflexiones obtenidas con equipo de carga dinámica y estática.* Bogota.

Boza, D., & Ríos, M. (2022). *Análisis de la granulometría de los agregados de la cantera el Pedregal y su influencia en las mezclas asfálticas en caliente en la ciudad de*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Abancay. Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay. Obtenido de https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/380

Campaña, O., Galea, S., & Guerrero, V. (2015). Obtención de Asfalto Modificado con Polvo de Caucho Proveniente del Reciclaje de Neumáticos de Automotores. *Revista Politécnica, 36*(3). Obtenido de https://revistpolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/513

Campaña, O., Galeas , S., & Guerrero , V. (2015). Obtención de Asfalto Modificado con Polvo de Caucho Proveniente del Reciclaje de Neumáticos de Automotores. *Revista Politecnica, 36*(3). Obtenido de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/513

Chalco Perez, D. M., & Muñoz Manrique, L. C. (2021). *Desempeño de material de relleno (cal hidratada y cemento portland tipo 1) y aditivo antiadherente (antistripping) ante el daño por humedad en la mezcla asfáltica caliente convencional, mediante metodología Marshall y AASHTO T283.* Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11399

Chiman, L., Chiman, A., Sanabria, L., & Correa, J. (2014). Caracterización comparativa de agregados obtenidos de rocas ígneas usados en construcción vial. *Revista de Infraestructura vial, 16*(28), 5-12. doi:https://doi.org/10.15517/iv.v16i28.14222

da Silva, T., Nunes, H., Oliveira, T., de Oliveira, G., Causado, L., & Cardoso, D. (2019). Sensibilidad del método de dosificación Superpave en mezclas. *DYNA, 86*(211), 184-191. Obtenido de http://doi.org/10.15446/dyna.v86n211.77714

Duque, G., & Escobar, C. (2016). *Geomecánica.* Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/geomecanica.pdf

El Sayed, M. (2012). Efecto del cambio teórico máximo específico del Diseño de mezclas asfálticas por gravedad. *Engineering Journal*. Obtenido de https://doi.org/10.4186/ej.2012.16.4.137

Fernandez, B. R. (2013). *Análisis comparativo de métodos de diseño de pavimentos flexibles.* Tesis de pregrado, Concepción. Obtenido de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/391

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., Gómez López, J. A., Alonso Romero, S., & Alarcón Horta, H. A. (2004). Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. *Instituto mexicano del transporte*. Obtenido de https://trid.trb.org/View/1100422

Institute, A. (2014). *MS-2 Asphalt Mix Design Methods.*

Jewihan, Y. (2023). Modelo predictivo de la gravedad específica máxima teórica de mezclas asfálticas utilizando programación de expresión génica. *Results isn Engineering, 19*. Obtenido de 10.1016/j.rineng.2023.101242

Jácome, K., & Paz, C. (2021). *Comportamiento de las mezclas asfálticas tibias utilizando residuos de acero con agregados de la mina de Pifo*. Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Obtenido de https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/25904

Khandal , P., & Khatri, M. (1992). *Método Rice mejorado para determinar la gravedad específica máxima teórica de las mezclas de pavimentación asfáltica.* Centro nacional de tecnología del asfalto, Washigton D.C. Obtenido de https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB2006102124.xhtml

Khandal, P., & Khatri, M. (1992). *Método Rice mejorado para determinar la gravedad específica máxima teórica de las mezclas de pavimentación asfáltica.* Obtenido de https://ntrl.ntis.gob/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB2006102124.xhtml

Malca, J., & Quispe, E. (2023). *Resistencia a la deformación de mezcla asfáltica reemplazando el 0.5%; 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho, Cajamarca 2023*. Tesis de grado, Universidad privada del Norte, Cajamarca. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/36197

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008). Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima, Perú. https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/10338-002-2018-mtc-14

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG - 2013. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Carreteras Ensayos de Materiales 2016. Lima, Perú.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Miranda, I. (2016). *Verificación del diseño Marshall para MDC-19 (Rodadura) para un tránsito de categoría NT2 a partir de agregados petreos obtenidos de la trituración del material del río Cohello, ubicado en el municipio de Cohello Tolima, cumpliendo la Norma INVIAS 2013.* Tesis de especiaidad, Universidad militar de Nueva Granada, Girardot. Obtenido de http://hdl.handle.net/10654/15941

Mohammed E, & Mohamad, S. (2021). Evaluar la durabilidad y efecto de la absorción de agua del agregado reciclado usado en pavimento. *EL Sevier*. Obtenido de https://doi.org/10.1016//j.matpr.2020.12.579

Montejo, A. (2002). *Apuntes de Ingeniería de Pavimentos.* Bogotá, Colombia: Stella Valbuena de Fierro.

Navarro, J. (2017). *Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET.* Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12802/4569

Ortegon , D., & Villabon , A. (2018). *Evaluar el comportamiento de una mezcla asfáltica en frío modificada mediante fibras Kevlar.* Tesis de grado, Cundinamarca. Obtenido de http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5766

Padilla, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.* Universidad politécnica de Catalunya, Barcelona. Obtenido de http://hdl.handle.net/2099.1/3334

Ponce Subia , C. F., & Villa Calvet, C. A. (2020). *Análisis comparativo de características y propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente adicionada con fibras de propileno respecto a una mezcla asfáltica en caliente convencional , empleando los agregados de la cantera La Poderosa.* Tesis de grado, Universidad Catolica de Santa Maria, Arequipa, Arequipa. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10429

Poulos, H., & Davis, E. (1974). *Soluciones Elásticas para Mecánica de Suelos y Rocas.* Sidney: Universidad de Sydney, Centro de Investigación Geotécnica.

Solorzano, S., Salas, M., Sequeira, W., & Loria, L. (2015). Guía para inspectores para la colocación de sobrecapas asfáltica. *Laboratorio nacional de materiales y modelos estructurales.* Obtenido de https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/506025112500/830

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Solorzano, S., Salas, M., Sequeira, W., & Loria, L. (2015). *Guía para inspectores para la colocación de sobrecapas asfáltica.* Costa Rica: Laboratorio nacional de materiales y modelos estructurales . Obtenido de https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/830

The Asphalt Institute. (1973). Manual del Asfalto. Estados Unidos de Norteamérica: Ediciones Urmo, Bilbao.

The Asphalt Institute MS-22. (1992). En Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap 3 (pág. 57). Estados Unidos: Asphalt Institute.

Witczak, M., & Sotil, A. (2005). *Últimos avances de superpave: buscando un ensayo que acompañe al método.* Ponencia, Universidad San Ignacio de Loyola. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.14005/1505

Zelada, L. (2019). *Diseño de 1 km de pavimento, carretera Juliaca - Puno (Km 44+000 - km 45+000).* Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12404/13836

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 1. Tabla de gradaciones para mezclas cerradas (ASTM D3515)

Gradaciones propuestas para mezclas cerradas (ASTM D3515)

Abertura de malla	Mezclas cerradas / Mezcla densa								
	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2 " (50 mm)	1 ½ " (37,5 mm)	1 " (25,0 mm)	¾ " (19D mm)	½ " (12,5 mm)	3/8 " (9,5 mm)	No. 4 (4,75 mm)	No. 8 (2,36 mm)	No. 16 (1,18 mm)
Gradación de agregados (grava; fino y filler si se requiere) Porcentaje en peso									
2 1/2 " (63 mm)	100 - 100	-	-	-	-	-	-	-	-
2 " (50mm)	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-	-	-
1 ½ " (37,5mm)	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-	-
1 " (25,0 mm)	60 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-
¾ " (19 Dmm)	-	56 - 80	-	-	100 - 100	-	-	-	-
½ " (12 ,5mm)	35 - 65	-	56 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-
3/8 " (9 ,5 mm)	-	-	-	56 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-
No. 4 (4,75mm)	17 - 47	23 - 53	29 - 53	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	-	100 - 100
No. 8 (2,36mm)	13 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	-	95 - 100
No. 16 (1,18mm)	-	-	-	-	-	-	40 - 80	-	85 - 100
No. 30 (600 µm)	-	-	-	-	-	-	35 - 65	-	70 - 95
No. 50 (300 µm)	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	-	45 - 75
No. 100 (150 µm)	-	-	-	-	-	-	3 - 20	-	20 - 40
No. 200 (75 µm)	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	-	9 - 20
Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla									
	2 - 7	3 - 9	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 2. Carta de viscosidad del cemento asfáltico PEN 85/100 Petro Perú

PETROPERU

PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ

CLASE DE PRODUCTO **ASFALTO SÓLIDO**	*Fecha efectiva:* Enero 2014
TIPO DE PRODUCTO **CEMENTO ASFÁLTICO**	*Reemplaza edición de:* Noviembre 2007
NOMBRE DE PRODUCTO **ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN**	

ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO	
	MÍN.	MÁX.	ASTM	AASHTO
PENETRACIÓN	85	100	D-5	T-49
a 25℃, 100 g, 5 s, 0.1mm				
VOLATILIDAD				
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92	T-48
Gravedad específica a 15.6/15.6℃	Reportar		D-70	T-228
DUCTILIDAD a 25℃, 5 cm/min, cm	100		D-113	T-51
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, % masa	99,0		D-2042	T-44
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA				
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754	T-179
Pérdida por calentamiento, % masa		1,0		
Penetración retenida, % del original	47+		D-5	T-49
Ductilidad a 25℃, 5 cm/min, cm	75		D-113	T-51
Indice de susceptibilidad térmica	-1.0	+1.0		Francés RLB
FLUIDEZ				
Viscosidad cinemática a 100℃, cSt	Reportar		D-2170	T-201
Viscosidad cinemática a 135℃, cSt	170		D-2170	T-201
REQUERIMIENTO GENERAL:	El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175℃.			

OBSERVACIONES:

(a) En concordancia con a Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946 y AASHTO M-20.

PETROPERÚ ... LA ENERGÍA QUE MUEVE TU MUNDO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis