Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

UAC
TESIS

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO.

Presentado por:
Aguilar Ampuero, José Alejandro
Valer Arotaipe, Ángela Susana

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Merino Yépez, Milton Robert

CUSCO-PERÚ-2021

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Dedicatoria

A mi madre Maria Rocio, por su amor, apoyo incondicional que siempre me brindó y, quien siempre será mi fortaleza y fuente de motivación en todo momento, por lo cual estaré eternamente agradecido.

A mi padre George Luis, por su amor incondicional, por sus consejos de vida y por todo el apoyo que siempre me dio a lo largo de mi vida.

A mi hermano, por todos sus consejos y su amor incondicional, por enseñarme el valor de la humildad y del respeto, y quien será siempre mi ejemplo a seguir.

Jose Alejandro Aguilar Ampuero

A Dios por haber estado junto a mí en cada paso que doy y darme todo lo necesario para llevar a cabo mis metas en mi vida profesional.

A mis padres Lucyla y Claudio a quienes admiro, y que siempre me enseñaron excelentes valores. Gracias por su constante motivación e incondicional apoyo.

Angela Susana Valer Arotaipe

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Agradecimientos

A nuestros padres y familiares, por su apoyo incondicional a lo largo del desarrollo de la presente investigación.

A nuestro asesor el Ing. Milton Merino Yépez, ya que sin su apoyo profesional no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

A la Ing. Carmen Rosa Huallpamaita Ponce por brindarnos su apoyo durante la elaboración del presente trabajo.

Al personal de laboratorio de Suelos, concreto y pavimentos de la Universidad Andina del Cusco por su colaboración en los procedimientos realizados.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Resumen

La presente investigación “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO” tiene como objetivo principal analizar comparativamente el comportamiento mecánico y la resistencia a la deformación permanente de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) , haciendo uso de agregados y cemento asfáltico (PEN 120/150) provenientes de la planta de asfalto de COPESCO de la región del Cusco.

El trabajo realizado en laboratorio consta de controles de calidad de los agregados, cemento asfáltico, BPTR, GNR y de las mezclas asfálticas compactadas mediante ensayos de calidad normados por la EG-2013 del MTC y CE.010 Pavimentos Urbanos del RNE. Además, se realizó el diseño de la mezcla asfáltica convencional ,elaboración y ensayo de estabilidad y flujo Marshall considerándose 7 porcentajes de cemento asfáltico (4%,4.5%,5%,5.5%,6%,6.5% y7%) obteniéndose una población y muestra de 35 briquetas de asfalto con la finalidad de determinar un contenido óptimo de cemento asfáltico para posteriormente mediante el mismo procedimiento determinar el porcentaje óptimo de adición de BPTR y GNR considerándose 7 porcentajes de adición (0.20%,0.50%,0.80%,1.00%,1.40%,1.70% y 2.00%) obteniéndose una población y muestra de 49 briquetas de asfalto, tomando en cuenta el mismo contenido óptimo de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica convencional. Luego, en función a los porcentajes óptimos de cada mezcla asfáltica (Convencional y adicionada con BPTR y GNR) se someten a pruebas de resistencia al daño inducido por humedad y resistencia a la deformación permanente tomándose para cada tipo de mezcla asfáltica, una población y muestra de 6 y 4 briquetas de asfalto respectivamente.

Finalmente se concluyó que la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR presenta mejoras en las propiedades mecánicas y frente a la mezcla asfáltica convencional ya que, respecto a la estabilidad Marshall tiene una mejora de 66.58 kg, respecto al daño inducido por húmedad presenta una mejora de 2.37% en el porcentaje de TSR, así como también se tiene una mejora en el ahuellamiento en 3.43 mm. Sin embargo, respecto al flujo Marshall se presenta un incremento de flujo en 0.02 mm.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Cabe resaltar que se cumplen con todos los parámetros establecidos en la EG-2013 y CE.010.

Palabras clave: Mezclas asfálticas adicionadas, Botellas de plástico trituradas recicladas, Granos de neumáticos reciclados, Estabilidad Marshall, Flujo Marshall, Resistencia al daño inducido por humedad, Resistencia a la deformación permanente.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Abstract

The present investigation “ANALYSIS OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF A CONVENTIONAL ASPHALT MIXTURE OPPOSITE AN ADDITIONAL ASPHALT MIXTURE WITH RECYCLED CRUSHED PLASTIC BOTTLES (BPTR) AND RECYCLED TIRE GRAINS (GNR) , WITH AGGREGATES FROM THE CUSCO REGION" has as main objective to analyze comparatively the mechanical behavior and the resistance to permanent deformation of a conventional asphalt mixture opposite an asphalt mixture added with recycled crushed plastic bottles (BPTR) and recycled tire grains (GNR) using aggregates and asphalt cement (PEN 120/150) from the COPESCO asphalt plant in the Cusco region.

The work carried out in the laboratory consists of quality controls of aggregates, asphalt cement, BPTR, GNR and compacted asphalt mixtures by means of quality testing regulated by the EG-2013 de la MTC and CE.010 Pavimentos urbanos del RNE. In addition, the design of the conventional asphalt mixture was carried out, elaboration and testing of stability and flow Marshall considering 7 percentages of asphalt cement (4%,4.5%,5%,6%,6% and 7%) in order to determine an optimal content of asphalt cement for later by the same procedure to determine the optimal percentage of addition of BPTR and GNR considering 7 percentages of addition (0.20%,0.50%,0.80%,1.00%,1.40%,1.70% and 2.00%) taking into account the same optimal asphalt cement content of the conventional asphalt mixture. Then, depending on the optimal percentages of each asphalt mixture (Conventional and added with BPTR and GNR) are subjected to tests of resistance to damage induced by moisture and resistance to permanent deformation.

Finally, it was concluded that the asphalt mixture added with BPTR and GNR presents improvements in mechanical properties and resistance to permanent deformation against the conventional asphalt mixture, also complies with all the parameters established in EG-2013 and CE.010.

Keywords: Added asphalt mixes, Recycled crushed plastic bottles, Recycled tire grains, Marshall Stability, Marshall Flow, Resistance to Moisture induced damage, Resistance to permanent deformation.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Introducción

En la actualidad en la Ciudad del Cusco se tienen problemas con los pavimentos flexibles, debido a que estos presentan fallas que afectan al uso de dichos pavimentos y por lo tanto deja de brindar confort a los usuarios. Estas fallas suelen suceder por distintas razones las cuales podrían ser el uso de malos materiales, el mal diseño o incluso el mal uso de dichos pavimentos provocando fallas como agrietamiento, ahuellamiento etc.

Esto se podría evitar principalmente haciendo un correcto diseño del pavimento y también adicionando un material reciclado como es común hoy en día, para que este mejore las propiedades y resistencia del pavimento, teniendo este mayor tiempo de vida, generando también menor costo en mantenimiento y mayor calidad a los usuarios.

Para el presente tema de investigación se identifica la problemática respecto a las fallas en pavimentos flexibles existentes en la región del Cusco; posteriormente se plantea objetivos e hipótesis los cuales se corroboran después de realizar ensayos en laboratorio y analizar los resultados obtenidos y verificar el cumplimiento de la hipótesis.

La presente investigación cuenta con los siguientes capítulos: Capítulo I: Planteamiento del problema, capítulo II: Marco Teórico, capitulo III: Metodología, capítulo IV: Resultados, capítulo V: Discusiones, glosario, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, anexos y apéndice.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Índice general

Dedicatoria i

Agradecimientos ii

Resumen iii

Abstract v

Introducción vi

Índice general vii

Índice de figuras xxxv

Capítulo I : Planteamiento del problema 1

1.1 Identificación del problema 1

1.1.1 Descripción del problema 1

1.1.2 Formulación interrogativa 2

1.2 Justificación de importancia de la investigación 2

1.2.1 Justificación técnica 2

1.2.2 Justificación social 5

1.2.3 Justificación por viabilidad 6

1.2.4 Justificación por relevancia 7

1.3 Limitaciones de la investigación 7

1.3.1 Limitaciones de estudio 7

1.3.2 Limitaciones de equipos 9

1.3.3 Limitaciones de materiales 9

1.3.4 Limitaciones de aplicación 10

1.4 Objetivo de la investigación 10

1.4.1 Objetivo general 10

1.4.2 Objetivos específicos 11

Capítulo II : Marco teórico 12

2.1 Antecedentes de la tesis 12

2.1.1 Antecedentes a nivel nacional 12

2.1.2 Antecedentes a nivel internacional 16

2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes 24

2.2.1 Pavimento 24

2.2.2 Materiales que conforman una mezcla asfáltica en caliente 27

2.2.3 Materiales reciclados 33

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.4 Mezcla asfáltica 36
2.2.5 Mezclas asfálticas adicionadas 44
2.2.6 Diseño de mezclas asfálticas 44
2.2.7 Análisis de deformaciones permanentes 51
2.2.8 Análisis de daño inducido por humedad en mezclas asfálticas 53
2.2.9 Requerimientos normativos de materiales que conforman la mezcla asfáltica .. 54
2.2.10 Requerimientos normativos de gradación de agregados pétreos para mezcla asfáltica 57
2.2.11 Requerimientos normativos para mezcla asfáltica 59
2.2.12 Control de calidad de materiales que conforman la mezcla asfáltica 61
2.3 Hipótesis 73
2.3.1 Hipótesis general 73
2.3.2 Sub hipótesis 73
2.4 Definición de variables 73
2.4.1 Variables independientes 73
2.4.2 Variables dependientes 74
2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables 76
Capítulo III : Metodología 77
3.1 Metodología de la Investigación 77
3.1.1 Enfoque de la investigación 77
3.1.2 Método de investigación 77
3.2 Diseño de investigación 78
3.2.1 Diseño metodológico 78
3.2.2 Diseño de ingeniería 79
3.3 Población y muestra 80
3.3.1 Población 80
3.3.2 Muestra 81
3.3.3 Criterios de inclusión 83
3.4 Instrumentos 84
3.4.1 Instrumentos de recolección de datos 84
3.4.2 Instrumentos de Ingeniería 128
3.5 Procedimientos de Recolección de datos 132
3.5.1 Control de calidad de los Agregados gruesos 132
3.5.2 Control de calidad de los Agregados finos 158
3.5.3 Ensayo a la combinación de agregados 191

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.4 Ensayo de calidad al cemento asfáltico 193
3.5.5 Ensayo de calidad a los adicionantes 196
3.5.6 Preparación y ensayos en la Mezcla asfáltica caliente Convencional 204
3.5.7 Preparación y ensayos en la Mezcla asfáltica Adicionada 234
3.6 Procedimientos de Análisis de datos 259
3.6.1 Control de calidad de los Agregados gruesos 259
3.6.2 Control de calidad de los Agregados finos 271
3.6.3 Ensayo a la combinación de agregados 294
3.6.4 Ensayo de calidad al cemento asfáltico 297
3.6.5 Ensayo de calidad a los adicionantes 298
3.6.6 Control de calidad del diseño de mezcla asfáltica convencional 307
3.6.7 Control de calidad del diseño de mezcla Adicionada con BPTR y GNR 351
Capítulo IV : Resultados 396
4.1 Control de calidad 396
4.1.1 Control de calidad del agregado grueso 396
4.1.2 Control de calidad de agregados finos 397
4.1.3 Control de calidad del cemento asfáltico 398
4.1.4 Control de calidad de Mezcla asfáltica convencional y Mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR en porcentajes óptimos 398
Capítulo V : Discusiones 414
Glosario 421
Conclusiones 426
Recomendaciones 432
Referencias 436
Anexo 1 440
Anexo 2 441
Anexo 3 444
Anexo 4 491
Apéndice 505

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Índice de Tablas

Tabla 1 Selección del tipo de cemento asfáltico 30
Tabla 2 Rangos de temperatura de aplicación 30
Tabla 3 Causas y Efectos de una Estabilidad Baja 40
Tabla 4 Causas y Efectos de durabilidad en un pavimento 41
Tabla 5 Causas y efectos de un pavimento asfáltico permeable 42
Tabla 6 Causas y efectos de problemas en la baja trabajabilidad 42
Tabla 7 Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga 43
Tabla 8 Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento 43
Tabla 9 Requerimientos para los agregados gruesos 54
Tabla 10 Requerimientos para los agregados gruesos 55
Tabla 11 Requerimientos para los agregados finos 55
Tabla 12 Requerimientos para los agregados finos 56
Tabla 13 Especificaciones del cemento asfaltico clasificado por penetración 56
Tabla 14 Husos granulométricos según MTC 57
Tabla 15 Gradaciones de los Agregados para Mezclas Asfálticas en Caliente 57
Tabla 16 Graduaciones para Mezclas Superpave 58
Tabla 17 Especificaciones de Gradación de Agregados Superpave 58
Tabla 18 Requisitos para Mezclas Asfálticas en Caliente 59
Tabla 19 Requisitos de porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral 59
Tabla 20 Requisitos de porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral 60
Tabla 21 Requisitos de porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral 60
Tabla 22 Requisitos de porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral 61
Tabla 23 Operacionalización de variables 76
Tabla 24 Cuantificación de la población para mezclas asfálticas convencionales 80
Tabla 25 Cuantificación de la población para mezclas asfálticas adicionadas 80
Tabla 26 Cuantificación de la muestra para mezclas asfálticas convencionales 82
Tabla 27 Cuantificación de la muestra para mezclas asfálticas modificadas 82
Tabla 28 Criterios de inclusión de los materiales 84
Tabla 29 Instrumentos de recolección de datos para ensayos al agregado grueso 84
Tabla 30 Instrumentos de recolección de datos para ensayos al agregado fino 85
Tabla 31 Instrumentos de recolección de datos para ensayos a combinación de agregados 85
Tabla 32 Instrumentos de recolección de datos para ensayos al cemento asfáltico 85
Tabla 33 Instrumentos de recolección de datos para ensayos a los adicionantes 85

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 34 Formato de laboratorio para ensayo de Análisis granulométrico del agregado grueso MAC 86
Tabla 35 Formato de laboratorio para ensayo de Análisis granulométrico del agregado grueso MAC-Gráfico 87
Tabla 36 Formato de laboratorio para ensayo de Análisis granulométrico del agregado grueso SUPERPAVE 88
Tabla 37 Formato de laboratorio para ensayo de Análisis granulométrico del agregado grueso SUPERPAVE-Gráfico 89
Tabla 38 Formato de laboratorio para el ensayo de abrasión Los Ángeles al desgaste de los agregados 90
Tabla 39 Formato de laboratorio para el ensayo de Peso específico y absorción del agregado grueso 91
Tabla 40 Formato de laboratorio para el ensayo de Determinación de partículas largas y achatadas 92
Tabla 41 Formato de laboratorio para el ensayo de Determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso 93
Tabla 42 Formato de laboratorio para el ensayo de Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio del agregado grueso 94
Tabla 43 Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino MAC-Arena natural de Cunyac 95
Tabla 44 Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino MAC-Arena natural de Cunyac-Gráfico 96
Tabla 45 Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino MAC-Arena triturada de Morro Blanco 97
Tabla 46 Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino MAC-Arena triturada de Morro Blanco-Gráfico 98
Tabla 47 Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino SUPERPAVE-Arena natural de Cunyac 99
Tabla 48 Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino SUPERPAVE-Arena natural de Cunyac-Gráfico 100
Tabla 49 Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino SUPERPAVE-Arena triturada de Morro Blanco 101
Tabla 50 Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino SUPERPAVE-Arena triturada de Morro Blanco-Gráfico 102

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 51 Formato de laboratorio para el ensayo de Gravedad específica y absorción del agregado fino-Arena natural de Cunyac 103
Tabla 52 Formato de laboratorio para el ensayo de Gravedad específica y absorción del agregado fino-Arena triturada de Morro Blanco 104
Tabla 53 Formato de laboratorio para el ensayo de Calibración de fiola-Arena natural de Cunyac 105
Tabla 54 Formato de laboratorio para el ensayo de Calibración de fiola-Arena triturada de Morro Blanco 106
Tabla 55 Formato de laboratorio para el ensayo de Determinación del índice de plasticidad de agregados finos-Arena natural de Cunyac 107
Tabla 56 Formato de laboratorio para el ensayo de Determinación del índice de plasticidad de agregados finos-Arena triturada de Morro Blanco 108
Tabla 57 Formato de laboratorio para el ensayo de Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio de los agregados finos-Arena natural de Cunyac 109
Tabla 58 Formato de laboratorio para el ensayo de Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio de los agregados finos-Arena triturada de Morro Blanco 110
Tabla 59 Formato de laboratorio para el ensayo de Equivalente de arena-Arena natural de Cunyac 111
Tabla 60 Formato de laboratorio para el ensayo de Equivalente de arena-Arena triturada de Morro Blanco 112
Tabla 61 Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico de combinación de agregados 113
Tabla 62 Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico de combinación de agregados–Gráfico 114
Tabla 63 Verificación del Análisis granulométrico de combinación de agregados 115
Tabla 64 Verificación del Análisis granulométrico de combinación de agregados-Gráfico 116
Tabla 65 Formato de laboratorio para el ensayo de Penetración de materiales bituminosos. 117
Tabla 66 Formato de laboratorio para el ensayo de Granulometría de Granos de neumáticos reciclados (GNR) MAC 118
Tabla 67 Formato de laboratorio para el ensayo de Granulometría del Granos de neumáticos reciclados (GNR) MAC-Gráfico 119
Tabla 68 Formato de laboratorio para el ensayo de Granulometría del Granos de neumáticos reciclados (GNR) SUPERPAVE 120

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 69 Formato de laboratorio para el ensayo de Granulometría del Granos de neumáticos reciclados (GNR) SUPERPAVE-Gráfico 121
Tabla 70 Formato de laboratorio para el ensayo Granulometría de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) MAC 122
Tabla 71 Formato de laboratorio para el ensayo Granulometría de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) MAC-Gráfico 123
Tabla 72 Formato de laboratorio para el ensayo Granulometría de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) SUPERPAVE 124
Tabla 73 Formato de laboratorio para el ensayo Granulometría de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) SUPERPAVE-Gráfico 125
Tabla 74 Formato de laboratorio para el ensayo de Peso específico del Granos de neumáticos reciclados (GNR) 126
Tabla 75 Formato de laboratorio para el ensayo de Peso específico de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) 127
Tabla 76 Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al agregado grueso 128
Tabla 77 Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al agregado fino 129
Tabla 78 Instrumentos de ingeniería usados para ensayos a la combinación de agregados . 130
Tabla 79 Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al cemento asfáltico 130
Tabla 80 Instrumentos de ingeniería usados para ensayos a los adicionantes 130
Tabla 81 Instrumentos de ingeniería usados para ensayos a las mezclas asfálticas 131
Tabla 82 Cantidad mínima de muestra de agregado grueso 134
Tabla 83 Datos recolectados del ensayo de granulometría Agregado Grueso-Morro Blanco 136
Tabla 84 Gradación de las muestras de ensayo 138
Tabla 85 Número de esferas a usar según la gradación. 139
Tabla 86 Datos recolectados de ensayo de abrasión 141
Tabla 87 Peso mínimo de la muestra de ensayo de abrasión 143
Tabla 88 Datos recolectados del ensayo de peso específico de agregado grueso 145
Tabla 89 Peso mínimo del material para ensayo de determinación de partículas largas y achatadas 147
Tabla 90 Dimensiones de los calibradores, grosor y longitud y peso mínimo para subdivisión de la fracción 148
Tabla 91 Datos recolectados del ensayo de determinación de partículas largas 151
Tabla 92 Datos recolectados del ensayo de determinación de partículas chatas o aplanadas 151
Tabla 93 Peso mínimo usado para el ensayo de determinación de partículas fracturadas 152

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 94 Datos recolectados del ensayo de porcentaje de caras fracturadas con una cara fracturadas 154
Tabla 95 Datos recolectados del ensayo de porcentaje de caras fracturadas con dos o más caras fracturadas 154
Tabla 96 Peso mínimo para realizar el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio 156
Tabla 97 Datos recolectados del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio de agregados gruesos 158
Tabla 98 Datos recolectados del ensayo de granulometría de agregados finos-Arena natural de Cunyac 163
Tabla 99 Datos recolectados del ensayo de granulometría de agregados finos-Morro Blanco 163
Tabla 100 Datos recolectados de la calibración de fiola-Arena natural de Cunyac 171
Tabla 101 Datos recolectados de la calibración de fiola-Morro Blanco 171
Tabla 102 Datos recolectados de ensayo de peso específico de agregados finos-Arena natural Cunyac 171
Tabla 103 Datos recolectados de ensayo de peso específico de agregados finos-Morro Blanco 171
Tabla 104 Datos recolectados del ensayo de determinación de límite liquido-Arena natural de Cunyac 175
Tabla 105 Datos recolectados del ensayo de determinación de límite liquido-Morro Blanco 176
Tabla 106 Datos recolectados del ensayo de determinación de limite plástico-Arena natural de Cunyac 178
Tabla 107 Datos recolectados del ensayo de determinación de limite plástico-Morro Blanco 179
Tabla 108 Tamices normalizados usados para el ensayo de durabilidad 180
Tabla 109 Datos recolectados del ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio-Arena natural de Cunyac 183
Tabla 110 Datos recolectados del ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio-Morro Blanco 183
Tabla 111 Datos recolectados del ensayo de equivalente de arena-Arena natural de Cunyac 191
Tabla 112 Datos recolectados del ensayo de equivalente de arena-Morro Blanco 191

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 113 Datos recolectados del ensayo de análisis granulométrico de combinación de agregados 193
Tabla 114 Datos recolectados del ensayo de penetración 196
Tabla 115 Datos recolectados del ensayo de Granulometría del Granos de neumáticos reciclados (GNR) 198
Tabla 116 Datos recolectados del ensayo de peso específico de Granos de neumáticos reciclados (GNR) 200
Tabla 117 Datos recolectados del ensayo de granulometría del BPTR 202
Tabla 118 Datos recolectados del ensayo de peso específico del BPTR 203
Tabla 119 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 4% de cemento asfáltico 213
Tabla 120 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 4.5% de cemento asfáltico 213
Tabla 121 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 5% de cemento asfáltico 213
Tabla 122 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 5.5% de cemento asfáltico 214
Tabla 123 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 6% de cemento asfáltico 214
Tabla 124 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 6.5% de cemento asfáltico 214
Tabla 125 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 7% de cemento asfáltico 215
Tabla 126 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 4% de cemento asfáltico 218
Tabla 127 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 4.5% de cemento asfáltico 218
Tabla 128 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 5% de cemento asfáltico 218
Tabla 129 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 5.5% de cemento asfáltico 219
Tabla 130 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 6% de cemento asfáltico 219

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 131 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 6.5% de cemento asfáltico 219
Tabla 132 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 7% de cemento asfáltico 220
Tabla 133 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 4% de cemento asfáltico -Flujo 220
Tabla 134 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 4.5% de cemento asfáltico -Flujo 220
Tabla 135 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 5% de cemento asfáltico -Flujo 220
Tabla 136 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 5.5% de cemento asfáltico -Flujo 221
Tabla 137 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 6% de cemento asfáltico -Flujo 221
Tabla 138 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 6.5% de cemento asfáltico -Flujo 221
Tabla 139 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 7% de cemento asfáltico -Flujo 221
Tabla 140 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 4% de cemento asfáltico –Estabilidad 222
Tabla 141 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 4.5% de cemento asfáltico –Estabilidad 222
Tabla 142 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 5% de cemento asfáltico –Estabilidad 222
Nota. Fuente: Propia. Tabla 143 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 5.5% de cemento asfáltico –Estabilidad 222
Tabla 144 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 6% de cemento asfáltico –Estabilidad 223
Tabla 145 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 6.5% de cemento asfáltico –Estabilidad 223
Tabla 146 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 7% de cemento asfáltico –Estabilidad 223
Tabla 147 Alturas promedio de muestras asfálticas convencionales al 5.23% de asfalto en condición seca 230

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 148 Diámetros promedio de muestras asfálticas convencionales al 5.23% de asfalto en condición seca 230
Tabla 149 Alturas promedio de muestras asfálticas convencionales al 5.23% de asfalto en condición saturada 230
Tabla 150 Diámetros promedio de muestras asfálticas convencionales al 5.23% de asfalto en condición saturada 231
Tabla 151 Carga de rotura máxima de mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto en condición seca 231
Tabla 152 Carga de rotura máxima de mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto en condición saturada 231
Tabla 153 Datos recolectados del ensayo de Rueda de Hamburgo para muestras convencionales 233
Tabla 154 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.2% 239
Tabla 155 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.5% 240
Tabla 156 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.8% 240
Tabla 157 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1% 240
Tabla 158 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1.4% 241
Tabla 159 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1.7% 241
Tabla 160 Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 2% 241
Tabla 161 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.2% 244
Tabla 162 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.5% 244
Tabla 163 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.8% 244
Tabla 164 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1% 245

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 165 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1.4% 245
Tabla 166 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1.7% 245
Tabla 167 Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 2% 246
Tabla 168 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.2% -Flujo 246
Tabla 169 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.5% -Flujo 246
Tabla 170 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.8% -Flujo 247
Tabla 171 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1% -Flujo 247
Tabla 172 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1.4% -Flujo 247
Tabla 173 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1.7% -Flujo 248
Tabla 174 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 2% -Flujo 248
Tabla 175 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.2% -Estabilidad 248
Tabla 176 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.5% -Estabilidad 249
Tabla 177 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.8% -Estabilidad 249
Tabla 178 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1% -Estabilidad 249
Tabla 179 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1.4% -Estabilidad 250
Tabla 180 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1.7% -Estabilidad 250
Tabla 181 Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 2% -Estabilidad 250

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 182 Alturas promedio de muestras asfálticas al 5.23% de asfalto y 0.80% de BPTR y GNR en condición seca 255
Tabla 183 Diámetros promedio de muestras asfálticas al 5.23% de asfalto y 0.80% de BPTR y GNR en condición seca 255
Tabla 184 Alturas promedio de muestras asfálticas al 5.23% de asfalto y 0.80% de BPTR y GNR en condición saturada 255
Nota. Fuente: Propia. Tabla 185 Diámetros promedio de muestras asfálticas al 5.23% de asfalto y 0.80% de BPTR y GNR en condición saturada 255
Tabla 186 Carga de rotura máxima de mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto y 0.8% de BPTR y GNR en condición seca 256
Tabla 187 Carga de rotura máxima de mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto y 0.8% de BPTR y GNR en condición saturada 256
Tabla 188 Datos recolectados del ensayo de Rueda de Hamburgo para muestras adicionadas 258
Tabla 189 Husos granulométricos según el tamaño máximo nominal 259
Tabla 190 Husos granulométricos según el tamaño máximo nominal-Diseño Superpave 259
Tabla 191 Cálculo de análisis granulométrico del agregado grueso de Morro Blanco según MAC-2 260
Tabla 192 Cálculo de análisis granulométrico del agregado grueso de Morro Blanco según (SUPERPAVE - 12.5 mm) 261
Tabla 193 Resultado del ensayo de abrasión los ángeles 263
Tabla 194 Requerimientos de calidad para el ensayo de abrasión los ángeles 263
Tabla 195 Resultados del ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos 267
Tabla 196 Requerimientos de calidad para el ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso 267
Tabla 197 Cálculo del índice de aplanamiento 268
Tabla 198 Cálculo del índice de alargamiento 268
Tabla 199 Requerimientos de calidad para el ensayo de partículas largas y achatadas 268
Tabla 200 Cálculo de porcentaje de caras fracturadas para una cara fracturada 269
Tabla 201 Cálculo de porcentaje de caras fracturadas para dos o más caras fracturadas 269
Tabla 202 Requerimientos de calidad para el ensayo de caras fracturadas 270
Tabla 203 Cálculo de la durabilidad al sulfato de Magnesio del agregado grueso 270
Tabla 204 Requerimientos de calidad para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso 270

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 205 Cálculo de análisis granulométrico de la arena fina de Cunyac según MAC-2... 272
Tabla 206 Cálculo de análisis granulométrico de la arena fina de Cunyac según SUPERPAVE 12.5 mm 273
Tabla 207 Cálculo de análisis granulométrico de la arena triturada de Morro Blanco según MAC-2. 275
Tabla 208 Cálculo de análisis granulométrico de la arena triturada de Morro Blanco según SUPERPAVE 12.5 mm 276
Tabla 209 Cálculo del coeficiente de temperatura K 279
Tabla 210 Densidad del agua y coeficiente de temperatura (K) para varias temperaturas ... 280
Tabla 211 Resultados del ensayo de peso específico y absorción de agregados finos-Arena natural de Cunyac 284
Tabla 212 Cálculo del coeficiente de temperatura K 284
Tabla 213 Densidad del agua y coeficiente de temperatura (K) 285
Tabla 214 Resultados del ensayo de peso específico y absorción de agregados finos-Arena triturada de Morro Blanco 289
Tabla 215 Requerimientos de calidad para el ensayo de peso específico y absorción del agregado fino 289
Tabla 216 Resultado del ensayo de Límites de plasticidad-Arena natural de Cunyac 290
Tabla 217 Resultado del ensayo de Límites de plasticidad-Arena triturada de Morro Blanco 290
Tabla 218 Requerimientos de calidad para el índice de plasticidad 290
Tabla 219 Cálculo de durabilidad al sulfato de magnesio de los agregados finos - Arena natural de Cunyac 291
Tabla 220 Cálculo de durabilidad al sulfato de magnesio de los agregados finos- Morro Blanco 291
Tabla 221 Requerimientos de calidad para el ensayo de durabilidad del agregado fino al sulfato de magnesio 291
Tabla 222 Resultados del ensayo de equivalente de arena -Arena natural de Cunyac 293
Tabla 223 Resultados del ensayo de equivalente de arena - Morro Blanco 293
Tabla 224 Requerimientos de calidad para el ensayo de equivalente de arena 294
Tabla 225 Cálculo de análisis granulométrico de la combinación de agregados por el método gráfico 295
Tabla 226 Comprobación de análisis granulométrico de la combinación de agregados por el método gráfico 296

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 227 Resultados del ensayo de penetración de materiales bituminosos 298
Tabla 228 Requerimientos de calidad para el ensayo de penetración de materiales bituminosos 298
Tabla 229 Cálculo de análisis granulométrico de Granos de neumáticos reciclados (GNR) según MAC-2 299
Tabla 230 Cálculo de análisis granulométrico del Granos de neumáticos reciclados (GNR) según diseño Superpave 300
Tabla 231 Cálculos del ensayo de Peso Específico de Granos de neumáticos reciclados 302
Tabla 232 Cálculo de análisis granulométrico de BPTR según MAC-2..... 303
Tabla 233 Cálculo de análisis granulométrico de BPTR según SUPERPAVE 12.5 mm. 304
Tabla 234 Cálculo del peso específico del BPTR 306
Tabla 235 Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 4% de cemento asfáltico..... 307
Tabla 236 Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 307
Tabla 237 Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 4.5% de cemento asfáltico. 308
Tabla 238 Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 308
Tabla 239 Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 5% de cemento asfáltico..... 309
Tabla 240 Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 309
Tabla 241 Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 5.5% de cemento asfáltico.. 310
Tabla 242 Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 310
Tabla 243 Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 6% de cemento asfáltico..... 311
Tabla 244 Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 311
Tabla 245 Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 6.5% de cemento asfáltico.. 312
Tabla 246 Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 312
Tabla 247 Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 7% de cemento asfáltico..... 313
Tabla 248 Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 313
Tabla 249 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 314

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 250 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 314
Tabla 251 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 314
Tabla 252 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 315
Tabla 253 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 315
Tabla 254 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 315
Tabla 255 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 316
Tabla 256 Gravedad específica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 316
Tabla 257 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 316
Tabla 258 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 317
Tabla 259 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico 317
Tabla 260 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 317
Tabla 261 Gravedad específica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 318
Tabla 262 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 318
Tabla 263 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 318
Tabla 264 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 319
Tabla 265 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 319
Tabla 266 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 319

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 267 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 320
Tabla 268 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 320
Tabla 269 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 320
Tabla 270 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico 321
Tabla 271 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 321
Tabla 272 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 321
Tabla 273 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 322
Tabla 274 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 322
Tabla 275 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltica. 322
Tabla 276 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 323
Tabla 277 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 323
Tabla 278 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 323
Tabla 279 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 324
Tabla 280 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 324
Tabla 281 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico 324
Tabla 282 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 325
Tabla 283 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 325

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 284 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 325
Tabla 285 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 326
Tabla 286 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 326
Tabla 287 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 326
Tabla 288 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 327
Tabla 289 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 327
Tabla 290 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 327
Tabla 291 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 328
Tabla 292 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico 328
Tabla 293 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 328
Tabla 294 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 329
Tabla 295 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 329
Tabla 296 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 329
Tabla 297 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 329
Tabla 298 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 330
Tabla 299 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 330
Tabla 300 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 330

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 301 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 331
Tabla 302 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 331
Tabla 303 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico 331
Tabla 304 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 332
Tabla 305 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 332
Tabla 306 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 332
Tabla 307 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 333
Tabla 308 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 333
Tabla 309 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 333
Tabla 310 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 334
Tabla 311 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 334
Tabla 312 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 334
Tabla 313 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 335
Tabla 314 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico 335
Tabla 315 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 335
Tabla 316 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 336
Tabla 317 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 336

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 318 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 336
Tabla 319 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 336
Tabla 320 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 337
Tabla 321 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 337
Tabla 322 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 337
Tabla 323 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 338
Tabla 324 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 338
Tabla 325 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico 338
Tabla 326 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 4% de cemento asfáltico 339
Tabla 327 Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 4% de cemento asfáltico 339
Tabla 328 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 4% de cemento asfáltico 339
Tabla 329 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 4.5% de cemento asfáltico 340
Tabla 330 Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 4.5% de cemento asfáltico 340
Tabla 331 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 4.5% de cemento asfáltico 340
Tabla 332 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 5% de cemento asfáltico 341
Tabla 333 Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 5% de cemento asfáltico 341
Tabla 334 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 5% de cemento asfáltico 341

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 335 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 5.5% de cemento asfáltico 342
Tabla 336 Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 5.5% de cemento asfáltico 342
Tabla 337 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 5.5% de cemento asfáltico 342
Tabla 338 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 6% de cemento asfáltico 343
Tabla 339 Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 6% de cemento asfáltico 343
Tabla 340 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 6% de cemento asfáltico 343
Tabla 341 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 6.5% de cemento asfáltico 344
Tabla 342 Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 6.5% de cemento asfáltico 344
Tabla 343 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 6.5% de cemento asfáltico 344
Tabla 344 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 7% de cemento asfáltico 345
Tabla 345 Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 7% de cemento asfáltico 345
Tabla 346 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 7% de cemento asfáltico 345
Tabla 347 Cálculo de resistencia a la tracción indirecta de una mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto en condición seca 349
Tabla 348 Cálculo de resistencia a la tracción indirecta de una mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto en condición saturada 349
Tabla 349 Cálculo de la resistencia al daño inducido por humedad (Lottman Modificado) TSR - Mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfálto 349
Tabla 350 Cálculo de resistencia a la deformación permanente de una mezcla asfáltica convencional al 5.23% 350
Tabla 351 Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.20% 351
Tabla 352 Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.20%..... 351
Tabla 353 Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.50% 352

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 354 Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.50%..... 352
Tabla 355 Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.80% 353
Tabla 356 Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.80%..... 353
Tabla 357 Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.00% 354
Tabla 358 Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.00%..... 354
Tabla 359 Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.40% 355
Tabla 360 Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.40%..... 355
Tabla 361 Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.70% 356
Tabla 362 Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.70%..... 356
Tabla 363 Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 2.00% 357
Tabla 364 Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 2.00%..... 357
Tabla 365 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR 358
Tabla 366 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR..... 358
Tabla 367 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR 358
Tabla 368 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR 359
Tabla 369 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR 359
Tabla 370 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR 359
Tabla 371 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR 360
Tabla 372 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR 360

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 373 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR 360
Tabla 374 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR 361
Tabla 375 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR 361
Tabla 376 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 361
Tabla 377 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 362
Tabla 378 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 362
Tabla 379 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 362
Tabla 380 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 363
Tabla 381 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 363
Tabla 382 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 363
Tabla 383 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 364
Tabla 384 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 364
Tabla 385 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 364
Tabla 386 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR 365
Tabla 387 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 365
Tabla 388 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 365
Tabla 389 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 366

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 390 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 366
Tabla 391 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 366
Tabla 392 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 367
Tabla 393 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 367
Tabla 394 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 367
Tabla 395 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 368
Tabla 396 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 368
Tabla 397 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR 368
Tabla 398 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 369
Tabla 399 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 369
Tabla 400 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 369
Tabla 401 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 370
Tabla 402 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 370
Tabla 403 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 370
Tabla 404 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 371
Tabla 405 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 371
Tabla 406 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 371

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 407 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 372
Tabla 408 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR 372
Tabla 409 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 372
Tabla 410 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 373
Tabla 411 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 373
Tabla 412 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 373
Tabla 413 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 374
Tabla 414 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 374
Tabla 415 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 374
Tabla 416 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 375
Tabla 417 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 375
Tabla 418 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 375
Tabla 419 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR 376
Tabla 420 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 376
Tabla 421 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 376
Tabla 422 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 377
Tabla 423 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 377

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 424 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 377
Tabla 425 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 378
Tabla 426 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 378
Tabla 427 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 378
Tabla 428 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 379
Tabla 429 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 379
Tabla 430 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR 379
Tabla 431 Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 380
Tabla 432 Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 380
Tabla 433 Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 380
Tabla 434 Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 381
Tabla 435 Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 381
Tabla 436 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 381
Tabla 437 Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 382
Tabla 438 Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 382
Tabla 439 Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 382
Tabla 440 Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 383

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 441 Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR 383
Tabla 442 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.20% de BPTR y GNR 383
Tabla 443 Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.20% de BPTR y GNR 384
Tabla 444 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 0.20% de BPTR y GNR 384
Tabla 445 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.50% de BPTR y GNR 384
Tabla 446 Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.50% de BPTR y GNR 385
Tabla 447 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 0.50% de BPTR y GNR 385
Tabla 448 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.80% de BPTR y GNR 385
Tabla 449 Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.80% de BPTR y GNR 386
Tabla 450 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 0.80% de BPTR y GNR 386
Tabla 451 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.00%% de BPTR y GNR 386
Tabla 452 Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.00% de BPTR y GNR 387
Tabla 453 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 1.00% de BPTR y GNR 387
Tabla 454 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.40% de BPTR y GNR 387
Tabla 455 Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.40% de BPTR y GNR 388
Tabla 456 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 1.40% de BPTR y GNR 388
Tabla 457 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.70% de BPTR y GNR 388
Tabla 458 Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.70% de BPTR y GNR 389
Tabla 459 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 1.70% de BPTR y GNR 389
Tabla 460 Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 2.00% de BPTR y GNR 389

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 461 Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 2.00% de BPTR y GNR 390
Tabla 462 Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 2.00% de BPTR y GNR 390
Tabla 463 Cálculo de resistencia a la tracción indirecta de una mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada en 0.80% de BPTR y GNR en condición seca 394
Tabla 464 Cálculo de resistencia a la tracción indirecta de una mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada en 0.80% de BPTR y GNR en condición saturada..... 394
Tabla 465 Cálculo de la resistencia al daño inducido por humedad (Lottman Modificado) TSR - Mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada en 0.8% de BPTR y GNR..... 394
Tabla 466 Cálculo de la resistencia a la deformación permanente de mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada en 0.80% de BPTR y GNR..... 395
Tabla 467 Resultados de control de calidad de agregado grueso (piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac)..... 396
Tabla 468 Resultados de control de calidad de agregado fino (Arena natural de Cunyac) .. 397
Tabla 469 Resultados de control de calidad de agregado fino (Arena triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac)..... 397
Tabla 470 Resultados de control de calidad de cemento asfáltico 120/150 PEN 398
Tabla 471 Comparación de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencional y adicionada en sus porcentajes óptimos. 403
Tabla 472 Comparación de la estabilidad y flujo Marshall de las mezclas asfálticas convencional y adicionada en sus porcentajes óptimos 409
Tabla 473 Comparación de resultados de resistencia al daño inducido por humedad (Lottman Modificado) de la mezcla asfáltica convencional y adicionada en porcentajes óptimos 411
Tabla 474 Comparación de resultados de resistencia a la deformación permanente de la mezcla asfáltica convencional y adicionada en porcentajes óptimos..... 413

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Índice de figuras

Figura 1. Situación actual de la Av. de la Cultura. 1
Figura 2. Fallas en el pavimento de la avenida La cultura en Cusco 4
Figura 3. Estructura de un pavimento flexible 25
Figura 4. Estructura de un pavimento rígido. 27
Figura 5. Composición del asfalto 29
Figura 6. Proceso de obtención del BPTR. 34
Figura 7 . Proceso de obtención de láminas de GNR 36
Figura 8. Ilustración de los vacíos en el agregado mineral. 38
Figura 9. Valores Requeridos para vacíos en el agregado mineral. 39
Figura 10. Probeta sometida a ensayo Marshall 46
Figura 11. Parámetros Volumétricos 51
Figura 12 .Deformaciones en pavimentos flexibles y distribución de cargas 52
Figura 13. Deformaciones Permanentes (Ahuellamiento) 53
Figura 14 . Máquina de los Ángeles 62
Figura 15. Partícula de agregado pétreo con fractura 63
Figura 16 . Partícula de agregado húmedo en la que se muestra la distribución de agua interior y exterior 64
Figura 17. Equipos para Determinación de Limite Liquido y Limite plástico 66
Figura 18. Conjunto de Equipo para determinación de Equivalente de Arena 67
Figura 19. Penetrómetro de Asfalto 69
Figura 20. Probeta de asfalto sometida a carga para el ensayo de tracción indirecta 70
Figura 21. Esquema de Compactación de molde Giratorio Superpave. 71
Figura 22. Gráfica esquemática deformación-pasadas (ciclos) por susceptibilidad a la humedad 72
Figura 23. Diseño de ingeniería 79
Figura 24. Equipos y materiales para el análisis granulométrico del agregado grueso 132
Figura 25. Ensayo de Granulometría de Agregado grueso de Morro Blanco. 133
Figura 26. Recolección de Agregado grueso de Morro Blanco en la planta de asfalto de COPESCO. 133
Figura 27. Cuarteo de agregado grueso de Morro Blanco. 134
Figura 28. Tamizado de agregado grueso de Morro Blanco. 135
Figura 29. Gradación de agregado grueso de Morro Blanco. 135
Figura 30. Equipos y materiales para el ensayo de abrasión los ángeles. 137

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 31. Agregado total que será ensayado. 138
Figura 32. Colocación de la muestra a la máquina de los ángeles. 139
Figura 33. Muestra retirada de la máquina de los ángeles. 139
Figura 34. Tamizado del material retenido por la malla #10. 140
Figura 35. Lavado del material retirado por medio de la malla #10. 140
Figura 36. Material retirado del horno. 141
Figura 37. Equipos y materiales para el ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos. 142
Figura 38. Ensayo de peso específico del agregado grueso de Morro Blanco 142
Figura 39. Material que será ensayado. 143
Figura 40. Material sumergido en agua. 144
Figura 41. Secado del material saturado superficialmente seco. 144
Figura 42. Pesado en agua del agregado grueso saturado. 145
Figura 43. Equipos y materiales usados en el ensayo de determinación de partículas largas y achatadas. 146
Figura 44. Ensayo de determinación de partículas largas y achatadas. 146
Figura 45. Calibrador metálico para índice de achatamiento. 146
Figura 46. Calibrador metálico para índice de alargamiento. 147
Figura 47. Partículas enumeradas. 148
Figura 48. Pasando partículas por el Calibrador metálico para índice de achatamiento. 149
Figura 49. Medición de las partículas. 149
Figura 50. Partículas determinadas achatadas. 150
Figura 51. Pasando partículas por el calibrador metálico para índice de alargamiento. 150
Figura 52. Partículas alargadas. 151
Figura 53. Equipos y materiales para el ensayo de determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso. 152
Figura 54. Partículas separadas en grupos. 153
Figura 55. Pesado de los grupos de partículas. 153
Figura 56.Equipos y materiales para el ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio al agregado grueso. 155
Figura 57. Sumersión del agregado grueso en Sulfato de Magnesio. 156
Figura 58. Muestras en baño María a 25°C. 157
Figura 59. Enjuague de las muestras. 157
Figura 60. Muestras en baño María a 25°C. 158

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 61. Equipo y materiales usados en el análisis granulométrico de agregados finos. .. 159
Figura 62. Ensayo de Granulometría de los agregados finos. 159
Figura 63. Recolección de agregados. 160
Figura 64. Cuarteo del Arena natural de Cunyac. 160
Figura 65. Determinación del peso del tamiz N°16. 161
Figura 66. Gradación del agregado fino – Arena natural de Cunyac 162
Figura 67. Gradación del agregado fino – Arena Triturada de Morro Blanco 162
Figura 69. Equipos y materiales usados para el ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos. 164
Figura 70. Ensayo de gravedad especifica de Agregados Finos. 165
Figura 71. Cuarteo del Arena natural de Cunyac. 165
Figura 72. Secado del agregado fino en la Estufa. 166
Figura 73. Apisonado de la arena dentro del molde. 166
Figura 74. Prueba de que la arena se encuentra en condición: Saturado superficialmente seco. 167
Figura 75. Calibración de fiola previo al inicio del ensayo. 167
Figura 76. Medición de la temperatura. 168
Figura 77. Peso de la fiola. 168
Figura 78. Peso de la arena en condición saturada superficialmente seca. 169
Figura 79. Colocación de la arena en la fiola. 169
Figura 80. Extración de burbujas de aire con bomba de vacios. 170
Figura 81. Peso de fiola+agua+arena sin vacíos. 170
Figura 82. Equipos y materiales usados en el ensayo de determinación de límite líquido. .. 172
Figura 83. Materiales para determinación del límite liquido de la arena. 173
Figura 84. Tamizado de la arena por la malla N° 40. 173
Figura 85. Calibración de la cuchara de Casagrande. 173
Figura 86. Mezclado de la muestra con agua. 174
Figura 87. Muestra esparcida en la cuchara de Casagrande. 174
Figura 88. Acanalado del material sobre la cuchara de Casagrande. 175
Figura 89. Junta de la arena en la cuchara de Casagrande. 175
Figura 90. Equipos y materiales usados para el ensayo de determinación de límite plástico e índice de plasticidad. 177
Figura 91. Tamizado de la arena por la malla N° 40. 177
Figura 92. Formación de cilindros alargados con la ayuda de los dedos. 178

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 93. Comparación del cilindro con una varilla de 3.2 mm. 178
Figura 94. Equipos y materiales usados en el ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio de los agregados finos. 179
Figura 95. Preparación de la muestra por tamiz para realizar el ensayo. 180
Figura 96. Sumersión de los agregados finos en la solución de sulfato de Magnesio. 181
Figura 97. Sumersión de recipientes en Baño María a 25°C. 181
Figura 98. Decantación y lavado del Sulfato de Magnesio. 182
Figura 99. Material salido del horno. 182
Figura 100. Sulfato de Magnesio decantado usado en todos los ciclos. 182
Figura 101. Sumersión de los agregados finos en el Sulfato de Magnesio. 183
Figura 102. Equipos y materiales usados en el ensayo estándar para el valor equivalente de arena. 185
Figura 103. Realización de ensayo de equivalente de arena. 185
Figura 104. Arena con forma de cono. 186
Figura 105. Llenado de la lata con la arena. 187
Figura 106. Latas con arena enrasada. 187
Figura 107. Solución de cloruro cálcico en el cilindro de plástico. 187
. Figura 108. Vertido de la arena en el cilindro de plástico. 188
Figura 109. Distancia de cada ciclo. 188
Figura 110. Agitación del cilindro. 189
9. Se ajustó el dispositivo del sifón a una botella de 1,0 gal (3,8 L) de la solución de trabajo de cloruro de calcio. Coloque la botella a 91 ± 3cm (36 ± 1 pulg) sobre la superficie de trabajo.
Figura 111. Colocado del sifón. 189
Figura 112. Punzonamiento con el tubo irrigador. 190
Figura 113. Lectura de arcilla. 190
Figura 114. Lectura de arena. 191
Figura 115. Equipos y materiales usados en el ensayo de penetración de materiales bituminosos. 194
Figura 116. Extracción de cemento asfaltico PEN 120-150. 194
Figura 117. Ensayo de penetración. 195
Figura 118. Muestras para realizar el ensayo de penetración. 195
Figura 119. Granos de neumáticos reciclados (GNR). 196
Figura 120. Reencauchadora. 196
Figura 121. Obtención del Granos de neumáticos reciclados triturado. 197

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 122. Material para tamizar. 197
Figura 123 .Gradación del Granos de neumáticos reciclados (GNR). 198
Figura 124. Colocación del Granos de neumáticos reciclados (GNR) en la canastilla. 199
Figura 125. Pesaje de la canastilla con la malla. 200
Figura 126. Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) 201
Figura 127. Tamizado del BPTR. 201
Figura 128. Pesaje del BPTR. 203
Figura 129. Equipos y materiales usados en la preparación de muestras Marshall. 205
Figura 130. Separación por tamizado de todos los agregados. 205
Figura 131. Preparación de agregados según peso para el diseño de muestras. 206
Figura 132. Agregados separados por peso para preparación de muestras. 206
Figura 133. Agregados y moldes en el horno y preparación del cemento asfáltico. 207
Figura 134. Cemento asfáltico según diseño. 207
Figura 135. Mezclado del cemento asfaltico con el agregado grueso y fino. 207
Figura 136. Mezclado del cemento asfaltico con el agregado grueso y fino, midiendo temperatura. 208
Figura 137. Vertido de la mezcla en el molde. 208
Figura 138. Chuseado de la mezcla con la varilla. 208
Figura 139. Colocación del martillo sobre la muestra. 209
Figura 140. Extracción de la muestra. 209
Figura 141. Muestras convencionales. 210
Figura 142. Equipos y materiales usados en el ensayo de peso específico de mezcla asfáltica compactada convencional. 210
Figura 143. Toma de datos del peso de cada muestra. 211
Figura 144. Temperatura del Baño María para sumersión de muestras 211
Figura 145. Secado de muestras después de sumersión. 212
Figura 146. Toma de datos del peso de la muestra saturada con la superficie seca. 212
Figura 147. Toma de datos del peso en agua de la muestra Marshall. 212
Figura 148. Equipos y materiales usados en el ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall. 215
Figura 149. Sumersión de las muestras a 60°C. 216
Figura 150. Secado y colocación de la muestra Marshall en el cabezal de rotura. 216
Figura 151. Ensayo de Marshall. 217
Figura 152. Muestra terminado el ensayo. 217

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 153. Muestras ensayadas. 217
Figura 154. Equipos y materiales usados en el ensayo de resistencia de mezclas asfálticas convencionales compactadas al daño inducido por humedad. 225
Figura 155. Vertido de la mezcla asfáltica convencional en la bandeja. 225
Figura 156. Bandejas con mezcla asfáltica convencional. 226
Figura 157. Colocado de la muestra en el horno a 140°C para el curado. 226
Figura 158. Compactado de mezcla asfáltica convencional. 226
Figura 159. Sumersión de muestras en agua potable. 227
Figura 160. Muestras dentro de una cubierta plástica. Figura 161. Muestras puestas en la congeladora. 228
Figura 162. Muestras puestas en baño María a 60 °C. 228
Figura 163. Muestras en baño María. 229
Figura 164.Medición de muestras. 229
Figura 165. Ensayo de tracción indirecta. 230
Figura 166. Material enviado a TDM asfaltos. 232
Figura 167. Muestras convencionales compactadas por el compactador giratorio. 232
Figura 168. Ensayo de rueda de Hamburgo. 233
Figura 169. Muestras convencionales ensayadas en el equipo de Rueda de Hamburgo. 233
Figura 170. Adicionantes a la mezcla asfáltica, GNR y BPTR respectivamente. 235
Figura 171. Adicionantes pesados en los 7 diferentes porcentajes de adición. 235
Figura 172. Incorporación de los adicionantes en la mezcla asfáltica. 236
Figura 173. Vertido de la mezcla en el molde. 236
Figura 174. Eliminación de vacíos usando una varilla previa compactación. 236
Figura 175. Compactación de mezcla asfáltica adicionada. 237
Figura 176. Extracción de espécimen. 237
Figura 177. Pesaje de muestras asfálticas modificadas. 238
Figura 178. Toma de medidas de muestras asfáltica adicionada. 238
Figura 179. Toma de temperatura del agua. 239
Figura 180. Toma de temperatura del baño maría. 242
Figura 181. Secado de la muestra asfáltica adicionada. 243
Figura 182. Colocado de la muestra en el aparato Marshall. 243
Figura 183. Realización de ensayo de rotura de briquetas con el aparato Marshall. 243
Figura 184. Pesaje de agregados usados en la mezcla asfáltica adicionada. 251
Figura 185. Bandejas con mezcla asfáltica adicionada para el curado. 252

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 186. Vertido de mezcla para la posterior compactación. 252
Figura 187. Compactación de la muestra asfáltica adicionada. 253
Figura 188. Muestras asfálticas adicionadas sometidas al congelamiento. 254
Figura 189. Muestras puestas en baño María. 254
Figura 190. Muestras adicionadas compactadas por el compactador giratorio. 257
Figura 191. Ensayo de rueda de Hamburgo. 257
Figura 192. Muestras adicionadas ensayadas en el equipo de Rueda de Hamburgo. 258
Figura 193. Curva granulométrica del agregado grueso-MAC. 262
Figura 194. Curva granulométrica del agregado grueso-SUPERPAVE. 262
Figura 195. Curva granulométrica del agregado fino-Arena natural de Cunyac-MAC. 274
Figura 196. Curva granulométrica del agregado fino-Arena natural de Cunyac-SUPERPAVE. 274
Figura 197.Curva granulométrica del agregado fino-Arena triturada de Morro Blanco-MAC. 277
Figura 198. Curva granulométrica del agregado fino-Arena triturada de Morro Blanco-SUPERPAVE. 277
Figura 199. Peso Vs. Temperatura 279
Figura 200. Peso Vs. Temperatura. 284
Figura 201. Curva granulométrica de la combinación de agregados por el método gráfico. 297
Figura 202. Curva granulométrica de la verificación de la combinación de agregados. 297
Figura 203. Curva granulométrica de Granos de neumáticos reciclados (GNR) -MAC. 301
Figura 204. Curva granulométrica de Granos de neumáticos reciclados (GNR) -SUPERPAVE. 301
Figura 205. Curva granulométrica de botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) -MAC. 305
Figura 206. Curva granulométrica de botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) -SUPERPAVE. 305
Figura 207. Elección del contenido óptimo de cemento asfáltico con un porcentaje de vacíos del total de la mezcla de 4.5% 346
Figura 208. Valor del porcentaje de vacíos en agregado mineral (VMA) para contenido óptimo de asfalto de 5.23% 346
Figura 209. Valor del porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) para contenido óptimo de asfalto de 5.23% 347
Figura 210. Valor de Peso específico para contenido óptimo de asfalto de 5.23% 347

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 211. Valor de Estabilidad para contenido óptimo de asfalto de 5.23% 348
Figura 212. Valor de Flujo para contenido óptimo de asfalto de 5.23% 348
Figura 213. Elección del contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR con un porcentaje de vacíos del total de la mezcla de 4.34%. 391
Figura 214. Valor del porcentaje de vacíos en agregado mineral (VMA) para contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR de 0.8%. 391
Figura 215. Valor del porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) para contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR de 0.8%. 392
Figura 216. Valor de Peso específico para contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR de 0.8%. 392
Figura 217. Valor de Estabilidad para contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR de 0.8% 393
Figura 218. Valor de Flujo para contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR de 0.8% 393
Figura 219. Variación del peso específico de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto. 399
Figura 220. Variación del VTM de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto. 399
Figura 221. Variación del VMA de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto. 400
Figura 222. Variación del VFA de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto. 400
Figura 223. Variación del peso específico de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición. 401
Figura 224. Variación del VTM de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición. 401
Figura 225. Variación del VMA de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición. 402
Figura 226. Variación del VFA de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición. 402
Figura 227. Comparativa del peso específico de MAC óptimo vs. MAA óptimo. 404
Figura 228. Comparativa del VTM de MAC óptimo vs. MAA óptimo 404
Figura 229. Comparativa del VMA de MAC óptimo vs. MAA óptimo. 405
Figura 230. Comparativa del VFA de MAC óptimo vs. MAA óptimo. 405

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 231. Variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto. 406
Figura 232. Variación del flujo de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto. 406
Figura 233. Variación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto. 407
Figura 234. Variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición. 407
Figura 235. Variación del flujo de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición. 408
Figura 236. Variación de la relación flujo/estabilidad de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición. 408
Figura 237. Comparativa de la estabilidad de MAC óptimo vs. MAA óptimo. 410
Figura 238. Comparativa del flujo de MAC óptimo vs. MAA óptimo. 410
Figura 239. Comparativa de la relación estabilidad/flujo de MAC óptimo vs. MAA óptimo. 411
Figura 240. Comparativa de la resistencia al daño inducido por humedad TSR entre la mezcla asfáltica convencional óptimo vs Mezcla asfáltica adicionada óptimo. 412
Figura 241 Comparativa de la resistencia a la deformación permanente entre la mezcla asfáltica convencional óptimo vs Mezcla asfáltica adicionada óptimo. 413

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Capítulo I :Planteamiento del problema

1.1 Identificación del problema

1.1.1 Descripción del problema

Como es de nuestro conocimiento en el Perú usamos la mezcla asfáltica para pavimentar nuestras carreteras y/o pistas las cuales son muy importantes para la economía y desarrollo de nuestro país ya que estos colaboran con la comunicación y comercio.

En países con un adecuado desarrollo en transporte los costos de traslado son menores, mientras que en la región los caminos con desvíos permanentes o tramos deteriorados incrementan los costos de traslado (Rivera, 2015).

Las necesidades de las ciudades en el Perú con respecto a la calidad de pavimentos se incrementan debido al aumento del volumen de tráfico tanto en vehículos livianos como pesados, lo cual origina el deterioro de las vías con mayor rapidez causando incomodidad en los usuarios en general.

Ante dichas situaciones, una alternativa es modificar la mezcla asfáltica con el uso de materiales reciclados, logrando mejorar el comportamiento mecánico de los pavimentos en nuestras vías.

Es por eso que en la presente investigación se realiza el análisis de una mezcla asfáltica adicionada con dos materiales reciclados tales como son las Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y el Granos de neumáticos reciclados (GNR), comparándolo con la mezcla asfáltica que se usa convencionalmente en el Perú y de esta forma analizar el comportamiento mecánico de ambas mezclas.

Figura 1. Situación actual de la Av. de la Cultura.
Fuente: Tesis Evaluación del sistema de pavimentos flexibles en la prolongación de la av. la cultura.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

1.1.2 Formulación interrogativa

1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál es el análisis del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) con agregados de la región del Cusco?

1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos

P1. ¿Cuáles serán los parámetros volumétricos de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco?

P2. ¿Cuál será la estabilidad de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco?

P3. ¿Cuál será el flujo de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco?

P4. ¿Cuál será la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) para sus contenidos óptimos, con agregados de la región del Cusco?

P5. ¿Cuál será la resistencia a la deformación permanente de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) para sus contenidos óptimos, con agregados de la región del Cusco?

1.2 Justificación de importancia de la investigación

1.2.1 Justificación técnica

En la investigación por medio de ensayos según AASHTO al comparar dos diferentes mezclas asfálticas (Una mezcla asfáltica adicionada con botellas de plástico trituradas recicladas y granos de neumáticos reciclados y otra mezcla asfáltica convencional) se demostró el

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

comportamiento mecánico y de cada una de estas mezclas, viendo también los beneficios de cada una, y cuál es el más conveniente para usar en los pavimentos en el departamento del Cusco aportando conocimientos y criterios en el desarrollo en la especialidad de pavimentos.

Además, la presente investigación se realizó utilizando porcentajes para BPTR y GNR del 0.2% al 2% del peso total de la mezcla con incrementos de 0.3% en una proporción de 25/75 respectivamente; ya que, de acuerdo a los antecedentes presentados, se determinó que dentro de este rango de porcentaje de adición y para la proporción indicada se encontrarían los valores más óptimos para las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica adicionada; también se consideró estos porcentajes de incremento con la finalidad de obtener resultados mas precisos.

De esta manera con la investigación se pretende mejorar el comportamiento del pavimento, y así al usarlo en un diseño de vía para poder mejorar las condiciones de los pavimentos y tener una mayor durabilidad brindando mejor calidad de vida a todos los usuarios.

Asimismo, en la presente tesis de investigación se realizó un análisis comparativo de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR, analizando los siguientes valores de las diferentes variables:

-Se analizó el comportamiento de ambas mezclas asfálticas compactadas determinando los valores de parámetros volumétricos analizando el porcentaje de vacíos de aire del total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral(VMA),porcentaje de vacíos llenos con asfalto(VFA) y peso específico de la muestra, utilizando porcentajes de incidencia de los materiales que conforman la mezcla asfáltica (agregados finos, agregado grueso ,filler, cemento asfáltico, Botellas de plástico trituradas recicladas BPTR y Granos de neumáticos reciclados GNR), gravedad especifica Bulk y aparente de los agregados gruesos y finos, y gravedad especifica bulk de las muestras compactadas.

Dichos parámetros volumétricos son de suma importancia para conocer el probable funcionamiento de la mezcla asfáltica.

- Se analizó el comportamiento de ambas mezclas asfálticas compactadas determinando los valores de estabilidad y flujo Marshall los cuales fueron obtenidos a partir del ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E-504)

Los valores de estabilidad son de suma importancia para conocer la resistencia de la mezcla compactada frente a una carga necesaria para producir una falla en la muestra y de igual forma los valores de flujo que expresan la deformación vertical de la muestra en el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

- Se analizó el comportamiento de ambas mezclas asfálticas compactadas en el porcentaje óptimo de cemento asfaltico para la mezcla asfáltica convencional y en el porcentaje óptimo de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) para la mezcla asfáltica adicionada determinando los valores de resistencia al daño inducido por humedad (% TSR) los cuales fueron obtenidos a partir del ensayo de resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad -Lottman modificado(MTC E-522 y AASHTO T-283).

Los valores de TSR son de relevancia ya que podemos determinar la perdida de adherencia por acción del agua que no son detectados durante la elaboración de diseño Marshall, de igual manera nos permite conocer la relación de esfuerzos a tensión de mezclas asfálticas en condición seca y saturada.

- Se analizó el comportamiento de ambas mezclas asfálticas compactadas mediante el método estándar de prueba para preparar y determinar la densidad de las muestras de mezcla de asfalto mediante el compactador giratorio SUPERPAVE (AASHTO T-312) ,en el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para la mezcla asfáltica convencional y en el porcentaje óptimo de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) para la mezcla asfáltica adicionada determinando los valores de resistencia a la deformación permanente los cuales fueron obtenidos a partir del ensayo de rueda de Hamburgo para muestras asfálticas en caliente (AASHTO T-324) .

Los valores de resistencia a la deformación permanente nos indica la resistencia que ofrece la mezcla asfáltica al ahuellamiento de la carpeta de rodadura.

Figura 2. Fallas en el pavimento de la avenida La cultura en Cusco

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

1.2.2 Justificación social

En la siguiente investigación al utilizar una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR , y de esta forma mejorar la calidad de la mezcla(Comportamiento mecánico) mejoramos el confort y seguridad de las vias y en consecuencia la calidad de circulación de los usuarios y ahorro en presupuestos actualmente invertidos en reparaciones y mantenimientos. Debido a que en la actualidad se tiene cierta incomodidad en la usuarios de la región del Cusco referente a las vias principales de la ciudad presentando serias fallas estructurales en pavimentos tales como baches producto de una mezcla suceptible a la humedad y ahuellamiento debido a la acumulación de pequeñas deformaciones producidas en cada aplicación de carga lo cual ocasióna una deformación irrecuperable.

Asimismo, al hacer uso de materiales como son las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) disminuimos la cantidad de basura que cada día va más en aumento en la ciudad del Cusco debido a la falta de cultura del reciclaje, afectando la imagen de la ciudad en lugares turísticos.

Incentivando el uso de dichos materiales, también generamos la creación y mantenimiento de puestos de trabajo debido a que el proceso de reciclaje de residuos necesita de empresas y personas trabajadoras que recojan los distintos materiales, los clasifiquen y los procesen para sus distintos usos.

De igual manera, se debe considerar que la presente tesis contribuye con el conocimiento de los estudiantes e ingenieros ofreciendo diferentes opciones de investigación en la especialidad de Pavimentos, específicamente en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, del mismo modo, será un precedente para investigaciones en las que se requiera tener un control de calidad de agregados (Agregado grueso y fino), mediante ensayos normados por el Ministerios de Transportes y Comunicaciones, y de igual forma para control de calidad de cemento asfáltico.

Además, del procedimiento de cálculos y resultados obtenidos en la presente tesis, servirá como guía para futuras investigaciones en la misma especialidad y, asimismo, servirá para Ingenieros y profesionales afín, que laboren con estos materiales de la planta Asfáltica de COPESCO (Agregados Grueso Morro Blanco, Agregado Fino Morro Blanco, Agregado Fino Cunyac y

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Cemento Asfáltico PEN 120/150) como un parámetro de verificación en los controles de calidad de los agregados y cemento asfáltico, teniendo valores más representativos.

1.2.3 Justificación por viabilidad

Se considera viable el desarrollo de la tesis, debido a que los requerimientos normativos (Ensayos) se encuentran especificados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción – EG-2013 y por el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos para el control de Calidad de los Agregados Gruesos y finos, Cemento Asfáltico los cuales son los componentes principales para una mezcla asfáltica, del mismo modo, para el análisis y determinación del comportamiento mecánico (Ensayo de Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato marshall y Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad (Lottman Modificado), como para el análisis de deformación permanente (Ensayo de Rueda de Hamburgo) de una mezcla asfáltica, pueden ser desarrollados en el Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto y laboratorio de química de la Universidad Andina del Cusco, ya que este cuenta con los equipos e instrumentos necesarios y requeridos por mencionadas normas para el desarrollo y sustento de la presente tesis.

Sin embargo, cabe recalcar que, para la viabilidad de la presente tesis, se hizo uso de los Laboratorios de Desempeño de Mezclas Asfálticas del GRUPO TDM, en la ciudad de Lima-Perú, para realizar la compactación de muestras asfálticas mediante el “Método estándar de Prueba para preparar y determinar la densidad de las muestras de mezclas de asfalto en el compactador giratorio SUPERPAVE” (AASHTO T-312), el cual es requerimiento necesario para realizar la prueba de Rueda de Hamburgo.

Además, la aplicación de esta tecnología de Mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR tanto en laboratorio como en campo, es viable debido a la disponibilidad de dichos materiales adicionados (BPTR y GNR) los cuales son producto de reciclaje y de fácil obtención, asimismo los materiales componentes de la mezcla asfáltica (Agregados y cemento asfáltico) son adquiridos por parte de la planta de asfalto de plan COPESCO del gobierno regional del Cusco.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

1.2.4 Justificación por relevancia

La presente investigación estudia el resultado de la adición de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) en mezclas asfálticas y determinar a partir de ensayos normados para comportamiento mecánico, la comparación de las propiedades mecánicas y probable funcionamiento de la mezcla asfáltica, frente a las mezclas asfálticas convencionales realizadas en la región del Cusco.

La realización de esta investigación resulta ser relevante para el desarrollo en la especialidad de pavimentos y en la gestión de residuos ya que hace uso de materiales reciclados tales como son las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) , favoreciendo al medio ambiente.

Además, es importante, ya que se mejora el comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), aspectos que definen la durabilidad de la mezcla asfáltica y por ende el aumento de la vida útil del pavimento, reduciendo el ciclo de mantenimiento de las vías otorgando mayor confort al usurario.

1.3 Limitaciones de la investigación

1.3.1 Limitaciones de estudio

-La presente tesis de investigación se limita a los requerimientos especificados en las normas las cuales se encuentran especificados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción – EG-2013 y por el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos para el control de Calidad de los Agregados Gruesos y finos, Cemento Asfáltico.

-El control de calidad de los agregados (grueso y fino), cemento asfáltico y mezcla asfáltica (convencional y adicionada), se realizó aplicando la normativa especificada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción – EG-2013 y por el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos, además se hace uso de las normativas internacionales tales como son AASHTO y ASTM.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

-Se analizó el resultado de la adición de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) en mezclas asfálticas convencionales, obtenido a partir de ensayos normados para obtener el comportamiento mecánico (parámetros volumétricos, estabilidad, flujo, resistencia al daño inducido por humedad y resistencia a la deformación permanente).

-Se consideró la adición de dichos materiales (Botellas de plástico trituradas recicladas-BPTR y Granos de neumáticos reciclados-GNR sobre la mezcla asfáltica) en la mezcla asfáltica, variando proporcionalmente la composición de los agregados en dicha mezcla, a fin de que se tenga briquetas de asfalto de un mismo peso (1200 gr) y de esta manera controlar la altura de las briquetas de ambas mezclas , evitando implementar factores de corrección (realizados para muestras asfálticas convencionales) puestos en la norma en los resultados obtenidos.

-La investigación se limita al diseño Marshall tanto para analizar los ensayo de comportamiento mecánico, debido a que no se cuenta con los equipos y materiales necesarios para realizar un diseño SUPERPAVE ,es por eso que se hace uso de los Husos granulométricos especificados en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción – EG-2013(MAC-2) , sin embargo para tener un mayor control de la gradación y obtener mejores resultados en el ensayo de rueda de Hamburgo se hace uso también de los Husos granulométricos especificados en el diseño SUPERPAVE, por lo cual en el diseño de cada mezcla asfáltica se utilizaron los tamices normalizados para ambos Husos granulométricos. Adicionalmente con esto se puede determinar el comportamiento de los agregados de la planta de asfalto de COPESCO frente a una granulometría SUPERPAVE.

-Las mezclas asfálticas convencionales, se diseñaron mediante el procedimiento Marshall y de esta manera obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico evaluando los parámetros volumétricos (VMA, VTM, VFA y peso específico) y el flujo y estabilidad Marshall de las muestras en 7 distintos porcentajes de cemento asfáltico (4%,4.5%,5%,5.5%,6%,6.5%,7%).

-Las Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) usados en la presente investigación, pasaron por un proceso de tamizado previo a que sean adicionados a la mezcla asfáltica. Con la finalidad de obtener una gradación controlada de aplicación de partículas de BPTR y GNR pasantes la malla #10 (2 mm) y retenidos en la malla #40 (0.420 mm).

- Las mezclas asfálticas adicionadas con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), se diseñaron mediante el procedimiento Marshall y

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

utilizando el contenido óptimo del cemento asfáltico de la mezcla asfáltica convencional ,esto con la finalidad de determinar cómo se comporta la adición de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) en una mezcla asfáltica convencional optima, evaluando los parámetros volumétricos (VMA,VTM,VFA y peso específico) y el flujo y estabilidad Marshall de las muestras en 7 distintos porcentajes de adición de Botellas de plástico trituradas recicladas-BPTR y Granos de neumáticos reciclados-GNR (0.20%,0.50%,0.80%,1.00%,1.40%,1.70% y 2.00%).

-La presente investigación hace uso de el procedimiento de la National Asphalt Pavement Association (NAPA) del TAS14 para determinar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla asfáltica convencional y el contenido óptimo de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) en la mezcla asfáltica adicionada.

- Las mezclas asfálticas tanto convencional como adicionada fueron sometidas al ensayo de resistencia al daño inducido por humedad (Lottman modificado) solo en sus porcentajes óptimos de cemento asfáltico y de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) respectivamente debido a que la investigación se limita a analizar mezclas asfálticas óptimas.

-Las mezclas asfálticas tanto convencional como adicionada fueron sometidas al ensayo de resistencia a la deformación permanente (Rueda de Hamburgo) solo en sus porcentajes óptimos de cemento asfáltico y de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) respectivamente debido a que la investigación se limita a analizar mezclas asfálticas óptimas.

1.3.2 Limitaciones de equipos

-La presente tesis de investigación se limita al uso de equipos e instrumentos provistos por laboratorio de suelos, concreto y asfalto y laboratorio de química de la Universidad Andina del Cusco necesarios para su desarrollo, así como también se hace uso del equipo para el compactador giratorio SUPERPAVE provisto por el laboratorio de desempeño de mezclas asfálticas del grupo TDM ubicado en la ciudad de Lima-Perú.

1.3.3 Limitaciones de materiales

- La presente tesis de investigación se limita, a utilizar mezclas asfálticas en caliente utilizando el cemento asfaltico convencional de tipo PEN 120/150, agregado Grueso (Morro Blanco) y Agregados Finos (Morro Blanco y Cunyac) provistos, por la Planta de Asfalto de COPESCO del Gobierno Regional del Cusco, también se limita a usar el cemento Portland IP como filler,

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

y como material adicionantes a la mezcla asfáltica convencional Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR), el cual se obtuvo después de un proceso de trituración de botellas de gaseosa de la marca “Coca-Cola” mediante un vendedor independiente ubicado en la Ciudad de Lima-Perú y de igual manera, los Granos de neumáticos reciclados (GNR) provenientes de llantas en desuso, el cual también se obtuvo a través de un proceso de trituración de neumáticos de la marca Good year, mediante la empresa reencauchadora “El Cocodrilo” ubicado en la Ciudad del Cusco, en la localidad de Huasao, Distrito de Saylla, asimismo se escogió a criterio las partículas con menor diámetro tanto para las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) como para el Granos de neumáticos reciclados (GNR), esto con la finalidad de obtener un adecuado control de calidad de estos materiales.

-Asimismo, para la elaboración de las mezclas asfálticas tanto convencional como adicionada, se utilizó el mismo agregado grueso (Morro Blanco), Agregados finos (Morro Blanco y Cunyac) y el mismo cemento asfáltico (PEN 120/150), sin embargo, para la mezcla asfáltica adicionada se utilizó las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) , en la mencionada mezcla asfáltica se adicionó en porcentajes de 0.20%,0.50%,0.80%,1.00%,1.40%,1.70% y 2.00%, respecto al peso total de la mezcla asfáltica.

1.3.4 Limitaciones de aplicación

- La presente tesis de investigación se limita a ser usado para un tránsito pesado es por eso que según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción – EG-2013 tanto para la mezcla asfáltica convencional y como la mezcla asfáltica adicionada.

- La presente tesis de investigación se limita a la región del Cusco, para una altura mayor a 3000 m.s.n.m.

1.4 Objetivo de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

1.4.2 Objetivos específicos

O1. Determinar valores de los parámetros volumétricos de una mezcla asfáltica convencional frente una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco

O2. Determinar los valores de estabilidad de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco

O3. Determinar los valores de flujo de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco

O4. Determinar los valores de resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) para sus contenidos óptimos, con agregados de la región del Cusco

O5. Determinar los valores de resistencia a la deformación permanente de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) para sus contenidos óptimos, con agregados de la región del Cusco

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Capítulo II : Marco teórico

2.1 Antecedentes de la tesis

2.1.1 Antecedentes a nivel nacional

Título: DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONANDO ELASTÓMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018.

Autor: Franklin Andrey Canta Huarcaya, Katherine Soraya Vivas Jinés

Institución: Universidad Cesar Vallejo

Año: 2018

Grado: Bachillerato

Resumen:

El objeto de la presente investigación es determinar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica, mediante el diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado. Para ello, se ha realizado un estudio de tráfico en la Av. Circunvalación para determinar el tipo de tránsito que recibe, para luego realizar el diseño de la mezcla de la carpeta asfáltica del pavimento según la carga de tránsito, el diseño de mezcla se realizó por el método de diseño de mezcla Marshall cumpliendo con los parámetros del Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas de la Construcción EG-2013, la cual para previamente se realizaron ensayos de calidad de los agregados pétreos y el cemento asfáltico PEN 60-70. La técnica de adición de los elastómeros y PET reciclado usado es por vía seca porque se usaron como parte del agregado fino. La gradación de los agregados empleada es el MAC-2 y la incorporación de los adicionantes fue al 1%, 1.5% y 2%.

De acuerdo a los resultados obtenidos según el proceso llevado a cabo de los 2 diseños realizados, se observa una mejora en el diseño de la mezcla adicionada frente al diseño de la mezcla convencional con respecto a la estabilidad ya que al incrementar el porcentaje de los adicionantes incrementa su resistencia y pierde deformación.

Por otro lado, la utilización de adicionantes como elastómeros y PET reciclado en pavimentos flexibles, contribuyen al cuidado del medio ambiente y se pueden expandir a un mercado para hacer un proceso masivo de estos residuos sólidos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Conclusiones:

- Este estudio se basa en el Manual de Carreteras-Especificaciones generales de la construcción EG-2013, capitulo IV Pavimentos Flexibles-Sección 423 Pavimentos de concreto asfáltico donde se detallan especificaciones de calidad de los agregados pétreos y los parámetros de diseño de la mezcla asfáltica en caliente.
- La mezcla asfáltica se realizó con el método de diseño Marshall y la aplicación de los adicionantes por vía seca como parte del agregado fino. Donde se obtuvo un mejor comportamiento según el parámetro especificados en el EG-2013 adicionando al 1% de elastómeros y PET.
- El agregar elastómeros y PET reciclado en la mezcla mejora la estabilidad, los vacíos llenos de asfalto y reduce su deformación frente a un pavimento convencional. La propiedad mecánica de estabilidad incrementa en la mezcla adicionada en la medida que se agregue adicionantes alcanzando el máximo valor en el diseño de mezcla con elastómeros y PET reciclado al 2 % con un valor de 1604 kg.
- La mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado es trabajable por método de adición vía seca debido a que se trabaja como parte del agregado fino. Es decir, se incorporó como parte del porcentaje a un agregado fino, completando entre ellos para llegar una mezcla adecuadamente según los parámetros indicados en el EG-2013, para ver su mejor comportamiento.
- La mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado incrementa el contenido de vacíos y reduce a la impermeabilidad de la mezcla. Llegando a 5.76% de vacíos con el diseño al 1% de adición de elastómeros y PET siendo el más bajo de los 3 diseños de mezcla la cual no llega a cumplir con las especificaciones del EG-2013.
- Los materiales reciclados como elastómeros y PET, pueden ser utilizados como modificadores en una mezcla asfáltica. Así mismo contribuyen al cuidado del medio ambiente y generen un mercado de reciclaje para estos residuos sólidos enfocados en la construcción de pavimentos.

Título: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD MARSHALL Y LA DEFORMACIÓN PERMANENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA EN CALIENTE CON FIBRAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADAS RECICLADO EN LA CIUDAD DEL CUSCO-2018

Autor: Jorge Edison Corbacho Chipana

Institución: UNSAAC

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Año: 2019

Grado: Bachillerato

Resumen:

El objetivo de la investigación es mejorar el comportamiento de la mezcla de concreto asfáltico en caliente modificándolo con un polímero-plastómero mediante vía seca.

El polímero usado fue el polietileno Tereftalato (PET), el cual se obtuvo de un centro de acopio de botellas de plástico reciclado donde se realiza el picado mediante una máquina trituradora. Esta iniciativa de usar plástico PET reciclado recae en el problema medioambiental que provoca, y a pesar de que existen procesos de reciclaje, este tratamiento es insuficiente para poder disminuir la contaminación producida por desechos plásticos.

Se realizó el diseño mediante el Método Marshall para obtener el contenido óptimo de asfalto de una mezcla asfáltica convencional y luego se procedió a modificar la mezcla asfáltica con las fibras PET por sustitución de agregado fino en vía seca con el fin de obtener el contenido óptimo de fibras PET.

Determinados el contenido óptimo de asfalto y contenido óptimo de fibras PET se realizó el ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo con el fin de determinar el comportamiento ante ahuellamiento y susceptibilidad a la humedad de ambas mezclas asfálticas. Esta prueba de desempeño, permiten evaluar el comportamiento de una mezcla sin importar el método de diseño, para garantizar las solicitaciones ante tránsito, temperatura y humedad.

Adicionalmente se realizaron los ensayos para determinar la variación del comportamiento ante la susceptibilidad a humedad inducida y tracción en el ensayo Lottman adicionada, mientras la rigidez bajo carga cíclica se evaluó en el ensayo de Módulo de Resiliencia.

Finalmente se analizaron todos los parámetros Marshall y pruebas de desempeño (Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo, Ensayo Lottman modificado y Modulo Resiliente), para ambas mezclas asfálticas con la finalidad de poder conocer la influencia de las fibras PET, y a la vez brindar una alternativa de reutilizar este plástico con ideas nuevas de investigación las cuales no son muy conocidas en nuestro país.

Conclusiones:

- En la presente investigación, se encontró que la influencia de la sustitución parcial de agregado fino en la estabilidad Marshall de mezcla asfáltica adicionada con fibras PET disminuye un 9.6% en comparación a la mezcla asfáltica convencional, mientras el flujo

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

de mezcla asfáltica adicionada con fibras PET se incrementa en 6.52% en comparación a la mezcla asfáltica convencional.

- También en la presente esta investigación, se encontró que la mezcla asfáltica adicionada con fibras PET, presentó un incremento de la resistencia a la susceptibilidad a la deformación permanente en 24% respecto a la mezcla asfáltica convencional.
- De los resultados de la investigación, se encontró que el porcentaje óptimo de asfalto de mezcla asfáltica convencional es 6.15%, obteniendo una estabilidad de 938 kg y un flujo de 13.8 (0.25 mm), cumpliendo con los requerimientos de la norma MTC E-504 del Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.
- Respecto del análisis de la deformación permanente en esta investigación, se encontró que la mezcla asfáltica convencional soportó 6166 pasadas, bajo las condiciones de ensayo de la norma AASHTO T 324-14 (a una temperatura de 50°C y sumergida en agua). No cumpliendo con el requerimiento mínimo de 20000 pasadas. Esto debido a partículas de agregado pétreo de color rojizo de menor dureza, los cuales se fracturaron durante el ensayo y problemas de Stripping (daño inducido por humedad). Sin embargo, se ha cumplido con los requerimientos mínimos de adherencia (TSR>80%), medidos bajo el ensayo de susceptibilidad a la humedad inducida (AASHTO T 283) - Lottman modificado, afectando en la resistencia de la mezcla a la deformación permanente.
- De los resultados de la investigación, se encontró que el porcentaje óptimo de asfalto de mezcla asfáltica adicionada es 6.15% y de fibras PET es 1.2%, obteniendo una estabilidad de 856.3 kg y un flujo de 14.7 (0.25 mm), cumpliendo con los requerimientos de la norma MTC E-504 del Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013. Cabe indicar que la modificación de mezcla asfáltica al ser una sustitución parcial de agregado fino, no varía el contenido óptimo de asfalto determinado para mezcla asfáltica convencional.
- Respecto del análisis de la deformación permanente en esta investigación, se encontró que la mezcla asfáltica adicionada con fibras PET soportó 7660 pasadas, bajo las condiciones de ensayo de la norma AASHTO T 324-14 (a una temperatura de 50°C y sumergida en agua). No cumpliendo con el requerimiento mínimo de 20000 pasadas. Esto debido a partículas de agregado pétreo de color rojizo de menor dureza, los cuales se fracturaron durante el ensayo y problemas de Stripping (daño inducido por humedad). Sin embargo, se ha cumplido con los requerimientos mínimos de adherencia (TSR>80%), medidos bajo el ensayo de susceptibilidad a la humedad inducida

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

(AASHTO T 283) - Lottman modificado, afectando en la resistencia de la mezcla a la deformación permanente.

2.1.2 Antecedentes a nivel internacional

Título: ARTÍCULO CIENTÍFICO - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE ADICIONADAS CON ELASTÓMERO (CAUCHO) Y TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO AC-20

Autor: Patricio Romero Flores, Hugo Bonifaz García, Mary Revelo Corella

Institución: Universidad de las fuerzas Armadas ESPE

Año: 2014

RESUMEN:

El objetivo principal de la investigación es analizar y comparar el comportamiento de las mezclas asfálticas adicionadas con relación a una mezcla asfáltica normal, los materiales modificadores utilizados son de origen plástico como el elastómero (caucho) proveniente de neumáticos fuera de uso y Tereftalato de polietileno (PET) proveniente de botellas de plástico recicladas con el fin de crear una alternativa de aplicación de estos materiales que generan contaminación al ambiente puesto que su biodegradación se produce a los 500 años. La granulometría utilizada corresponde a la Mezcla Asfáltica Normal MAC-2 determinada por la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 para un material pétreo de tamaño máximo nominal ¾". El trabajo realizado en laboratorio consta de caracterización de los materiales a utilizarse como el agregado, cemento asfáltico, elastómero y PET, posteriormente se realiza la elaboración y ensayo de estabilidad y flujo de briquetas mediante el Método Marshall, inicialmente para determinar el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla convencional y luego la aplicación de materiales modificadores en porcentajes variables, con lo que se determina el porcentaje óptimo elastómero y el porcentaje óptimo de la combinación 50% de elastómero y 50% de PET, finalmente se analiza el comportamiento de las mezclas diseñadas al ser sometidas a cambios bruscos de temperatura en un ensayo de choque térmico.

Conclusiones:

- Por el flujo resultante en los dos tipos de mezclas: adicionada con elastómero igual a 15,87 (0,01") y adicionada con 50% del elastómero y 50% de RPET igual a 15,9 (0,01"), los cuales sobrepasan el límite superior de 14 décimas de pulgada, se recomienda que

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

sea utilizadas en vías de tráfico liviano en donde el rango de variación del flujo es de 8 a 16 décimas de pulgada definido por la NEVI-12.

- La mezcla adicionada con elastómero se puede aplicar para capa de rodadura a pesar de su porcentaje de vacíos del 5,47% cuando el límite superior permitido es de 5% de vacíos, puesto que en obra puede mejorarse la compactación de la mezcla, así aumentas la densidad Bulk de la mezcla compactada y disminuyen los vacíos, esto se puede lograr incrementando la carga de compactación.
- Se recomienda utilizar máximo el 5% de elastómero, debido a los elevados valores de flujo y porcentajes de vacíos que se obtiene con el incremento gradual de porcentaje de material modificador en la mezcla.
- Debido a que cierta proporción de las partículas de elastómero es polvo, este influye en el aumento del flujo, por lo que se recomienda usar un material homogéneo, para tener un análisis más exacto del comportamiento de la mezcla.
- Se recomienda aplicar los ensayos de rueda cargada para el análisis dinámico de las mezclas asfálticas adicionadas diseñadas en este proyecto, puesto que, si bien es cierto, el flujo no aumenta en gran porcentaje para los óptimos obtenidos de elastómero y material 50E-50P, hay que comprobar que no genera un ahuellamiento considerable a corto plazo.

Título: MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON UN ELASTÓMERO(CAUCHO) Y UN PLASTÓMERO (TIRAS DE BOLSAS DE LECHE) CON ASFALTO 80-100

Autor: PhD. Fredy Alberto Reyes Lizcano, Ing.Maria Fernanda Madrid Ahumada,Ing. Sandra Ximena Salas Callejas
Institución: Pontificia Universidad Javeriana

Año: 2007

Resumen:

La adición de productos industrializados como el caucho y el plástico podrían hacer parte constitutiva de la estructura de un pavimento al dar a las mezclas asfálticas un mejor comportamiento mecánico y por ende una mayor duración de vida. Se debe ser conscientes que se vive en la cultura del usar y tirar, y en la basura de cada día están los recursos que dentro de poco tiempo harán falta. Se trata, en definitiva, de que se ponga en práctica la consigna de las tres erres, reducir, reutilizar y reciclar, en este orden de

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

importancia. Mediante esta investigación se puede llegar a una reducción en los residuos sólidos y adicionalmente mejorar el desempeño de los pavimentos en Colombia.

En la presente investigación de la mezcla modificada con caucho y plástico, se realizó la caracterización dinámica de la mezcla asfáltica con los óptimos de adición de plástico proveniente de bolsas de leche y de caucho proveniente de las llantas usadas, logrando una reducción del ahuellamiento del 8%, un aumento del módulo dinámico del 14%, lo cual significa para un diseño mecanicista de pavimentos un incremento de la durabilidad del 25%

Conclusiones:

- La caracterización del asfalto realizada en los laboratorios de la universidad, mediante los ensayos de penetración, ductilidad, peso específico, viscosidad, punto de ablandamiento y punto de inflamación, son coherentes con los resultados de caracterización entregados por Patria S.A. realizados en la refinería de Barrancabermeja.
- Por medio de la metodología Marshall se determinó el contenido óptimo de asfalto sobre la mezcla sin modificar, dando como contenido de asfalto recomendable 6.3%, el análisis del diseño se rige por el articulo 400 de las normas INVIAS, siguiendo el criterio de diseño sugerido por NAPA.
- La selección de los porcentajes óptimos de caucho, plástico y combinación de los dos materiales se realizó mediante un análisis de relación estabilidad/flujo, teniendo como principio que un buen comportamiento de una mezcla asfáltica tiene valores de esta relación entre 300 a 500 consiguiendo que la mezcla tenga un mejor desempeño a la hora de ser funcional, manteniendo unas características de rigidez ideales, de acuerdo a este análisis. Los porcentajes óptimos de los materiales que fueron utilizados para la modificación de asfalto son los siguientes: caucho 0.10 %, tiras de plástico 0.70 % y para la combinación de los dos materiales fue caucho 75 % y tiras de plástico 25 %
- En el caso de mezclas modificadas (con caucho o con plástico) se puede concluir que a medida que el porcentaje de caucho y plástico aumenta, el porcentaje de vacíos en la mezcla también, lo que indica que al aumentar las proporciones de los modificantes en la mezcla, se dificulta la unión entre el agregado y asfalto.
- El comportamiento de la mezcla asfáltica modificada con plástico presentó mejora en ahuellamiento, alcanzando una deformación de no más de 1 cm a los 120 min de haber iniciado el ensayo. Las deformaciones en la mezcla asfáltica modificada con plástico disminuyen en un 59 % (a 60 min.) comparada con la mezcla sin modificar.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

- La mezcla modificada con adición de caucho presentó el peor comportamiento, deformándose aproximadamente 2.4 cm (a 60 min), concluyendo que el caucho no tiene un buen comportamiento cuando se analiza en ensayos de ahuellamiento, obteniendo deformaciones superiores con respecto a las demás mezclas, esta mezcla alcanzó deformaciones de un 27% por encima de la deformación de la mezcla asfáltica sin modificar.
- En cuando a la mezcla asfáltica modificada con caucho y plástico, esta presenta un mejor comportamiento que la mezcla sin modificar (sólo asfalto), lo cual muestra que el plástico logra excelentes resultados en cuanto a la deformación permanente. Esta mezcla presentó un 8% de reducción de ahuellamiento a los 60 min de haber iniciado el ensayo.
- La mayor magnitud en relación con los módulos fue obtenida para la menorntemperatura (100C), y el módulo más alto obtenido fue para las muestras con plástico a 100C , con una frecuencia de 10 Hz, con un valor de 12553 Mpa.
- De acuerdo a las variaciones porcentuales obtenidas se observa que la mayor variación porcentual negativa (-46%), es en las probetas con adición de caucho para 20 0C y 2.5 Hz.Para las briquetas con adición de 25% del óptimo de caucho y 75% del óptimo de plástico, se obtuvieron incrementos porcentuales del módulo, elmás alto (14%) a 2.5 Hz y 10 0C.
- En el análisis de datos por temperatura el mejor módulo obtenido para una frecuencia de 2.5Hz, se da en el caso de las briquetas con adición de plástico, con un incremento porcentual de 41% para una temperatura de 100 C, sin embargo, es el único incremento que hay bajo estas condiciones, luego para las briquetas con adición de plástico el módulo disminuye, y a pesar de que en estas se registra un incremento del módulo, también en estas se encuentra el valor más crítico.
- El ensayo SARA no es útil para sacar las variaciones químicas del asfalto modificado, pues la modificación que se da por el caucho y el plástico, sólo es posible medirla mediante ensayos mecánicos.

Título: IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (VCR) PROVENIENTE DE LLANTAS USADAS PARA MEJORAR LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y GARANTIZAR PAVIMENTOS SOSTENIBLES EN BOGOTÁ

Autores: César Mauricio Díaz Claros, Liliana Carolina Castro Celis

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Institución: Universidad Santo Tomás
Año: 2017
Grado: Bachillerato

Resumen:

Este documento sintetiza diferentes investigaciones a nivel internacional donde se demuestra que la implementación del GCR en los pavimentos es una alternativa para solucionar problemas de tipo mecánico en los pavimentos y mitigar impactos ambientales que genera el mal manejo de las llantas deshechas.

La adición de GCR para la modificación de las mezclas asfálticas, se traduce en una gran cantidad de beneficios, debido a las investigaciones que se han avanzado en los últimos años, han demostrado que este tipo de modificaciones son más durables con respecto a las convencionales, económicas a largo plazo pues se disminuyen los mantenimientos y aumenta su durabilidad, además contribuyen a la reducción de impactos negativos para el medio ambiente como lo son, la quema indiscriminada de las llantas desechadas dando paso a las emisiones de CO2, uno de los gases tóxicos más contaminantes del mundo causantes del calentamiento global, entre otros.

Con base en una revisión bibliográfica, el presente trabajo resume las ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales que se obtienen al hacer uso del grano de caucho reciclado para mejorar las mezclas asfálticas.

Conclusiones:

- En la mayoría de estudios que se han realizado a pavimentos con GCR, se refleja que hay otros factores que afectan los comportamientos mecánicos. Estos factores tienen que ver con la temperatura de reacción del asfalto y el GCR, la granulometría de los agregados, la adición de aditivos y la implementación de otras técnicas de reciclaje de pavimentos.
- Los diferentes estudios encontrados en la revisión del estado del arte, demuestran que la adición del GCR a las mezclas asfálticas, independientemente del proceso (proceso seco o húmedo) mejora considerablemente los comportamientos mecánicos de los pavimentos.
- Sin recurrir a análisis exhaustivos de costos, se puede apreciar que los beneficios monetarios son notorios, partiendo del hecho del aumento de la vida útil de los pavimentos (lo que implica reducción de mantenimientos por fallas mecánicas), la

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

sustitución de materiales (como es el caso del contenido de los finos por materiales reciclables (que en este caso es el GCR), entre otros. Sin embargo, estos ahorros son reflejados a largo plazo.

- El GCR presente en las mezclas asfálticas, mejora los problemas de ahuellamiento, disminuyendo los contenidos de vacíos de aire en las mezclas asfálticas acompañados de un proceso más intensificado de compactación la mezcla. Inicialmente, en los estudios encontrados, se refleja que el problema del ahuellamiento, entre otros factores, se ve favorecido por la falta de compactación, por lo cual la solución esperada es aumentar los ciclos, sin embargo, se demostró que al adicionar GCR estos ciclos pueden disminuir, ya que las partículas de caucho reciclado mejoran esta característica, con respecto de una mezcla asfáltica convencional.
- La información disponible sobre este método de mejoramiento de las mezclas asfálticas demuestra los altos avances internacionales, en cuanto a métodos de adición, porcentajes óptimos, solución viscosidades altas (que genera la adición de GCR), mejoras mecánicas en la mezcla asfáltica, solución de problemas de agrietamiento, ahuellamiento y resistencia a la fatiga.
- Las investigaciones nacionales más exhaustivas, afectarían de manera favorable los factores antes mencionados (economía, transporte medio ambiente, entre otros), ya que el total aprovechamiento de esta implementación (del GCR en las mezclas asfálticas) tendría como resultado, vías más durables, reduciendo gastos y bloqueos en las vías por mantenimiento, aumento de la velocidad en los vehículos (por una reducción de fallas en las vías, como baches, huellas, desgastes, etc.), mayor seguridad (mejor agarre de las llantas de los vehículos en el pavimento) y un aumento en la mitigación del impacto ambiental.

Título: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENTRE EL ASFALTO CONVENCIONAL Y EL ASFALTO MODIFICADO CON POLIESTIRENO Y LLANTA TRITURADA

Autor: Arnulfo Sánchez Castillo

Institución: Universidad de La Salle

Año: 2006

Grado: Bachiller

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Resumen:

El desarrollo de la infraestructura vial en Colombia, muestra la necesidad de adelantar trabajos de investigación en busca de nuevos materiales o de mejorar la calidad de los existentes para determinadas condiciones y así optimizar el funcionamiento de las carreteras, ofreciendo soluciones a la problemática de las mismas. Es indiscutible la necesidad del estudio del cemento asfáltico y la incidencia de modificadores que puedan representar posibles mejoras o adecuaciones en proyectos viales, así como la importancia que merece por ser un componente fundamental en las mezclas asfálticas en caliente. Por lo tanto, es indispensable conocer las características que se tienen en cuenta en el estudio para poder interpretar las variaciones obtenidas en las mismas a partir de la incorporación del poliestireno y la llanta triturada en diferentes proporciones; éstos cumpliendo la función de modificadores. El análisis de las características físicas del asfalto se enmarca dentro de las teorías y conceptos implementados en el área, así como se deben evaluar a partir de normas y especificaciones que rigen este tipo de materiales, las cuales están reguladas por el Instituto Nacional de Vías INVIAS y su correspondencia con la normatividad establecida por otras entidades como la ASTM, AASHTO, entre otras. Dichas normas establecen los requerimientos para la aprobación y el posterior uso de los mismos en la elaboración de concretos asfálticos. El desarrollo del proyecto se fundamentó en la investigación experimental, que tiene como requisitos la manipulación de las condiciones iniciales con el fin de provocar un efecto, la valoración del mismo y el control de la situación, los cuales orientaron a la determinación de la incidencia de los modificadores en las características físicas del cemento asfáltico convencional.

Conclusiones:

- Luego de la inspección visual al resultado de los procesos de modificación tanto a 135°C como a 170ºC y teniendo en cuenta las tendencias de los ensayos, se evidenció una mejor incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) y el poliestireno durante el último procedimiento de mezclado, obteniendo así un cemento asfáltico modificado de mayor homogeneidad.
- El cemento asfáltico modificado solo con poliestireno presentó una mayor consistencia respecto al ligante convencional, ya que mostró una reducción en la penetración en las muestras adicionadas a 135°C y a 170ºC.
- El ligante modificado con icopor reveló una rigidización en comparación con el asfalto convencional, evidenciado en la disminución de ductilidad en el cemento asfáltico modificado a 135ºC. A pesar del efecto del poliestireno en el cemento asfáltico, este

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

material se consideró dúctil, de acuerdo con los rangos establecidos para esta consideración. Para la modificación a 170ºC el ligante modificado arrojó resultados de ductilidad similares a la muestra sin modificar, por lo tanto, se logró una excelente combinación del poliestireno con el cemento asfáltico. La condición de asfalto dúctil lo hace mejor para controlar la fatiga y fisuramiento en los pavimentos.

- El cemento asfáltico modificado con poliestireno y llanta triturada comparado con el cemento asfáltico convencional registró mayores temperaturas de punto de ablandamiento, los cuales se incrementan de manera proporcional al contenido de los modificadores en el mismo.
- La viscosidad Brookfield del asfalto modificado con los 2 polímeros es mucho mayor que la del ligante sin modificar, ésta se incrementó en cuanto mayor 113 contenidos de llanta triturada se hizo parte de la modificación. Esto se debió a que los modificadores cambian las propiedades del material original, tanto por la incorporación de estos como por las temperaturas elevadas a las cuales es sometido el asfalto original durante el proceso de modificación.
- De acuerdo a los parámetros de viscosidad Brookfield que establecen un rango de 1500 cp. A 3000 cp. A una temperatura de 163ºC. La modificación ideal debe tener un contenido igual o superior al 16% de llanta más 1% de poliestireno del peso del asfalto base de la modificación. De acuerdo con lo anterior, se lograría un alto impacto en el manejo de materiales reciclables, mitigando la problemática ambiental que aporta el manejo y disposición de este tipo de materiales.
- Debido a la baja susceptibilidad térmica que presentaron los cementos asfálticos modificados con grano de caucho reciclado (GCR) e icopor; éste sería ideal para evitar ahuellamiento deformaciones plásticas considerables en un pavimento.
- La reducción de la penetración y la ductilidad, y el incremento del punto de ablandamiento del asfalto modificado respecto al cemento asfáltico convencional, muestra que el poliestireno y la llanta triturada actuaron como agentes rigidizado res del cemento asfáltico logrando mayor consistencia en el material.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1 Pavimento

2.2.1.1 Definición de pavimento

Se define a un pavimento como aquel que está constituido por un conjunto de capas superpuestas de manera horizontal, las cuales están formadas por materiales apropiados y compactados, dicha estructura se coloca por encima de la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras, es decir la subrasante. Esta estructura deberá resistir los esfuerzos que producen las cargas de tránsito para la cual fue diseñada dependiendo también del tiempo de dicho diseño (Montejo Fonseca, 2002).

2.2.1.2 Estructura de un pavimento asfaltico

2.2.1.2.1 Carpeta de rodadura

"Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito" (Direccion de Proyectos de Inversion Publica, 2015, p. 13).
Soporta la mayor parte de las cargas ocasionadas por el tráfico vehicular y efectos ambientales como son la radiación solar y la lluvia; es decir funciona como capa impermeabilizante ya que impide el paso del agua hacia la estructura interior (Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia, 2004).

2.2.1.2.2 Base

"Es la capa inferior a la capa de rodadura, que sostiene, distribuye y trasmite las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante (CBR > 80%) o será tratada con asfalto, cal o cemento" (Direccion de Proyectos de Inversion Publica, 2015, p. 13). Su función principal es resistir los esfuerzos producidos por el tráfico vehicular y dar un soporte a la carpeta de rodadura, transmite las cargas a las capas inferiores (Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia, 2004).

2.2.1.2.3 Sub-Base

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño menor, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular (CBR > 40%) o tratada con asfalto, cal o cemento. (Direccion de Proyectos de Inversion Publica, 2015, p. 13)

2.2.1.2.4 Sub-Rasante

La subrasante es aquella capa que soporta el pavimento, existen técnicas de mejoramiento o estabilización de suelos (por medios mecánicos o con el uso de productos químicos) para mejor las características del terreno, ya que, de esta depende el espesor total del pavimento (Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia, 2004).

2.2.1.3 Clasificación de los pavimentos

Los pavimentos se clasifican en pavimentos flexibles y pavimentos rígidos en su mayoría, sin embargo, también existen los semirrígidos o semi-flexibles y los pavimentos articulados, estos últimos menos comunes en nuestro entorno.

2.2.1.3.1 Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles están formados principalmente por una carpeta bituminosa, que es puesta sobre la base y la sub-base (Montejo Fonseca, 2002).

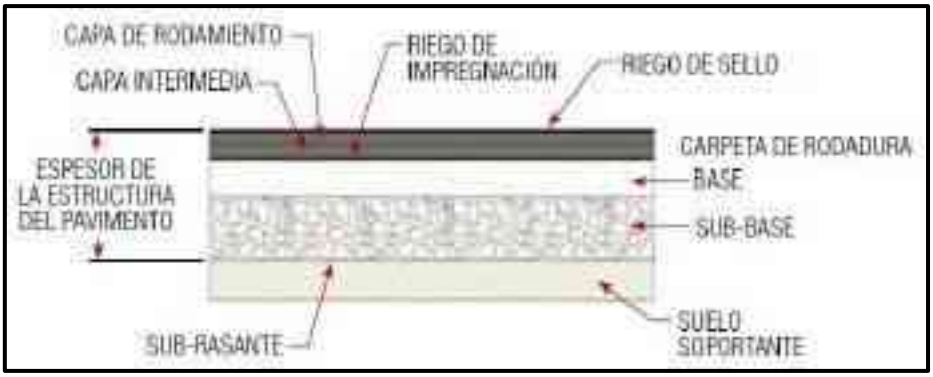


Figura 3. Estructura de un pavimento flexible

Fuente: Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos en la Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública de Carreteras

Funciones del pavimento flexible:

- El pavimento flexible proporciona una superficie segura y cómoda para el usuario (Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia, 2004).

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

- Las capas de la estructura soportan la mayor parte de las cargas de los vehículos y el resto, es soportado hacia el terreno o subrasante (Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia, 2004).

Características técnicas de un pavimento flexible:

- Durables
- Económicos
- Resistentes al clima
- Resistentes al transito

Características de seguridad y comodidad:

- Drenantes (Evacuar rápidamente la lluvia)
- Homogéneo

Ventajas del pavimento flexible:

- Menor costo que un pavimento rígido.
- Por el color, evita reflejos
- Resiste cargas ocasionadas por el tráfico vehicular
- El tiempo de restauración es más rápido
- Suavidad en el rodamiento (ahorro en combustible)

2.2.1.3.2 Pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles

Básicamente tiene una misma estructura que un pavimento flexible ya antes mencionado, sin embargo, una de sus capas es rigidizada artificialmente con el uso de aditivos tales como son las emulsiones, asfalto, cemento, cal, entre otros químicos. Todos estos agregados con la finalidad de modificar las propiedades mecánicas de materiales locales no aptos para la construcción(Montejo Fonseca, 2002).

2.2.1.3.3 Pavimentos rígidos

Se llama pavimento rígido debido a que esta principalmente constituido por una losa de concreto hidráulico, la cual se apoya sobre la subrasante o subbase. En su mayoría la capacidad

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

estructural de un pavimento rígido depende de la losa de concreto, por ende, las capas inferiores tienen poca repercusión en el diseño de este pavimento(Montejo Fonseca, 2002).

Figura 4. Estructura de un pavimento rígido.
Fuente: Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos en la Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública de Carreteras

2.2.1.3.4 Pavimentos articulados

Están compuestos por una capa de rodadura la cual se elabora con adoquines es decir bloques de concretos prefabricados, dicha capa se apoya sobre una capa de arena y este a su vez sobre la subrasante (Montejo Fonseca, 2002).

2.2.2 Materiales que conforman una mezcla asfáltica en caliente

2.2.2.1 Cemento Asfaltico

Como es de nuestro conocimiento el asfalto ha sido utilizado para la construcción de carreteras desde la antigüedad, debido a las características que posee.

“El cemento asfáltico es un material bituminoso aglomerante, de consistencia sólida, utilizado para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente”. (MTC, 2013)

Se define como un material cementante, de color marrón oscuro a negro, que se encuentra constituido por betunes de origen natural u obtenido por refinación del petróleo a través de distintas técnicas de refinación. (MTC.Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, 2019).

Es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo que resiste altos esfuerzos y también de fluir bajo acción de cargas permanente para lo cual son diseñadas (Salazar Delgado, 2011).

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tiene una consistencia sólida, al calentarlo se ablanda y se vuelve líquido, lo que nos permite recubrir los agregados durante el proceso de fabricación (Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia, 2004).

2.2.2.1.1 Clasificación de cementos asfalticos

Según (Montejo Fonseca, 2002),el cemento asfáltico se prepara comercialmente en cinco grados o rangos de consistencia definidos con base en el ensayo de penetración que se describirá más adelante. La designación corriente de los cinco grados de cemento asfáltico utilizados en pavimentación y su significado correspondiente es como sigue:

- AC 40-50: Cemento asfáltico con penetración entre 40 y 50 décimas de milímetro.
- AC 60-70: Cemento asfáltico con penetración entre 60 y 70 décimas de milímetro.
- AC 85-100: Cemento asfáltico con penetración entre 85 y 100 décimas de milímetro.
- AC 120-150: Cemento asfáltico con penetración entre 120 y 150 décimas de milímetro.
- AC 200-300: Cementos asfáltico con penetración entre 200 y 300 décimas de milímetro.

Los AC 200-300 son los más blandos, son moderadamente firmes a la temperatura ambiente y el dedo penetra fácilmente en ellos. El grado más duro los constituyen los AC 40-50 y tienen una consistencia tal que a la temperatura ambiente el dedo sólo alcanza a producir en ellos una leve huella superficial. El grado más empleado en los pavimentos asfálticos corrientes es el AC- 85-100.

2.2.2.1.2 Composición

El asfalto está compuesto por asfáltenos (proporcionan dureza al asfalto), resinas (aglutinan los asfáltenos), aromáticos y saturados (son aceites que le dan consistencia para que sean trabajables) (Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia, 2004).

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

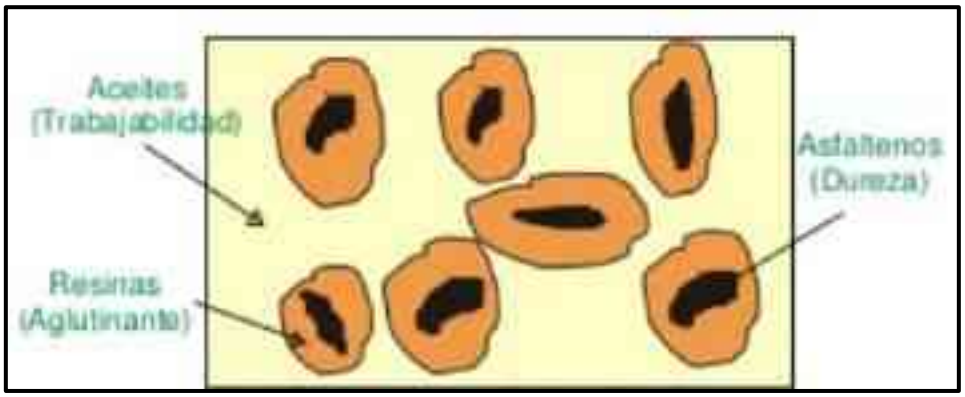


Figura 5. Composición del asfalto.
Fuente: Cartilla del pavimento asfaltico

2.2.2.1.3 Propiedades

- Durabilidad: Indica que tanto permanecen las características del cemento asfaltico después de haber sido expuestos a procesos normales de degradación y envejecimiento.
- Adhesión y cohesión: Adhesión es la capacidad del cemento asfaltico para adherirse al agregado en la mezcla. Cohesión es la capacidad del cemento asfaltico de mantenerse firme en su puesto.
- Susceptibilidad al endurecimiento y al envejecimiento: Debido a la combinación con el oxígeno, se genera el endurecimiento.
- Susceptibilidad a la temperatura: Es la propiedad más importante, aunque esta varía entre asfaltos de diferente origen.

(Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia, 2004)

2.2.2.1.4 Selección de tipo de cemento asfáltico

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla 1, según lo establecido en Proyecto y aprobado por el Supervisor. (MTC, 2013, p. 470)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 1

Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C a más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 ó modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Nota. Fuente: Manual de carreteras-especificaciones técnicas.

2.2.2.1.5 Temperatura de aplicación del cemento asfaltico (C)

El material bituminoso a utilizar en los diferentes trabajos según la especificación respectiva será obligatoriamente aplicado dentro de los rangos de la carta viscosidad-temperatura (ASTM D341) establecidos en el proyecto y aprobado por el Supervisor. Se observará los rangos de temperatura de aplicación establecidos en la Tabla 2 (MTC, 2013)

Tabla 2

Rangos de temperatura de aplicación

Tipo y Grado del Asfalto	Temperaturas de Expansión [2]		Temperaturas de Mezclado en Planta [1]	
Asfaltos Diluidos	Mezclas in situ	Tratamientos superficiales	Mezclas Densas	Mezclas Abiertas
MC-30	--	30	--	--
RC-70 o MC-70	20	50	--	--
RC-250 o MC-250	40	75	55-80	--
RC-800 o MC-800	55	85	75-100	--
Emulsiones Asfálticas				
CRS-1	--	50-85	--	
CRS-2	--	50-85	--	
CMS-2	20-70	--	10-70	
CMS-2h, CSS-1, CSS-1h	20-70	--	10-70	
Cemento Asfáltico Todos los grados	140 máx [4]		140 máx [4]	

(1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada.

(2) La Máxima temperatura deberá estar debajo de aquella en la que ocurre vapores o espuma

(3) En algunos casos la temperatura de aplicación puede estar por encima del punto de inflamación. Por tanto se debe tener precaución para prevenir fuego o explosiones.

(4) Se podrá variar esta temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad-temperatura

Fuente: MS-16 Asphalt Institute

Nota. Fuente: Manual de carreteras-especificaciones técnicas.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.2.2 Agregados pétreos

2.2.2.2.1 Definición:

Es un material granular de composición mineralógica, como es la arena, grava, escoria o roca triturada, puede ser de distintos tamaños clasificado posteriormente por medio de la granulometría (MTC.Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, 2019)

El agregado constituye alrededor del 90 y 95% de peso y entre el 75 y 85% en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. La buena funcionalidad del pavimento se ve influenciado por la correcta selección del agregado (Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia, 2004).

2.2.2.2.2 Clasificación de los agregados

Según su naturaleza:

- *Agregado natural:* Aquel agregado constituido por piedras provenientes de la alteración de las rocas por medio de procesos como el interperismo o por desgaste. (Escalante Zegarra, 2007)
- *Agregado artificial:* Productos o subproductos de un proceso industrial por transformación física y química de material. (Escalante Zegarra, 2007)

Según su tamaño:

- *Agregado grueso:* Se refiere a aquel material que proviene de la desintegración ya sea natural o artificial de partículas cuya granulometría se determina mediante las especificaciones técnicas correspondientes. Generalmente tomamos como agregado grueso a todo material retenido en la malla N°4 (4,75 mm) (MTC.Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, 2019).

Se aplica en lo que corresponda, lo especificado en la Subsección 415.02(a). Los agregados gruesos, deben cumplir además con los Requerimientos, establecidos en la Tabla 423-01

- *Agregado fino:* Se refiere al material que proviene de la desintegración ya sea natural o artificial de partículas cuya granulometría se determina mediante las especificaciones técnicas correspondientes. Generalmente tomamos como agregado grueso a todo material que pasa la malla N°4 (4,75 mm) (MTC.Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, 2019)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Se aplica en lo que corresponda, lo especificado en la Subsección 415.02(a). Adicionalmente deberá cumplir con los requerimientos de la Tabla 423-02.

- *Filler:* El filler es un material que proviene en su mayoría de la caliza pulverizada, polvos de roca, cal hidratada, cemento portland, y ciertos depósitos naturales de material fino, dicho material se usa para rellenar los vacíos de una mezcla asfáltica, pasa el tamiz N°200 (75 µm) (MTC.Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, 2019).

El filler junto al ligante forman una masa asfáltica que es muy importante en el comportamiento geológico, impermeabilidad y durabilidad de la mezcla. Forma parte del esqueleto mineral es por eso que soporta las tensiones por rozamiento interno o por el contacto entre partículas, además de rellenar los vacíos, proporcionar puntos de contacto entre agregados, facilita la compactación y hacer la mezcla más trabajable (Morea, 2011)

2.2.2.2.3 Propiedades

Los agregados deberán contar con las siguientes propiedades para que formen parte de una mezcla asfáltica.

- *Gradación y tamaño máximo:* Se requiere que las partículas cumplan con cierta granulometría especificada por el MTC.

Las gradaciones de los agregados pétreos para la producción de la mezcla Asfáltica en caliente deberán ajustarse a alguna de las siguientes Gradaciones y serán propuestas por el Contratista y aprobadas por el Supervisor.

- *Limpieza:* Los agregados deben estar libres de residuos tales como materia orgánica, arcilla.
- *Dureza:* Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión en diferentes tiempos.
- *Forma de la partícula:* La forma es importante en la trabajabilidad, cantidad de fuerza para compactar y la resistencia. Las partículas irregulares y angulares proporcionan mejores características.
- *Textura de la partícula:* Determina trabajabilidad, cantidad de fuerza para compactar y la resistencia del pavimento.
- *Capacidad de absorción:* Medimos la capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto.

(Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia, 2004)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.3 Materiales reciclados

2.2.3.1 Definición

El reciclaje o reciclamiento es la acción y efecto de reciclar (aplicar un proceso sobre un material para que pueda volver a utilizarse). El reciclaje implica dar una nueva vida al material en cuestión, lo que ayuda a reducir el consumo de recursos y la degradación del planeta. La base del reciclaje se encuentra en la obtención de una materia prima o producto a partir de un desecho. Un bien ya utilizado puede destinarse a la basura o reciclarse y adquirir un nuevo ciclo de vida. (Perez Porto & Gardney , 2013)

2.2.3.2 Botellas de plástico

2.2.3.2.1 Definición

La botella de plástico es un envase ligero muy utilizado en la comercialización de líquidos en productos como de lácteos, bebidas o limpia hogares; el plástico se moldea para que la botella adquiera la forma necesaria para la función a que se destina y generalmente se utiliza para el almacenamiento de líquidos; Las botellas de plástico, no son retornables. Esto quiere decir que, cuando están vacías, el consumidor puede desechar el recipiente. (Perez Porto & Gardney , 2013)

2.2.3.2.2 Botellas de plástico trituradas recicladas

El plástico es un material que tiene grandes propiedades, pero cuando hablamos de su reciclaje destaca una por encima de otras: tiene mucho volumen y poca densidad

El proceso de trituración nos proporciona un material homogéneo, del mismo tamaño y una forma muy similar, independientemente de la forma y del tamaño que tengan originariamente.

Además, el plástico triturado reciclado tiene como finalidades la reutilización directa, el aprovechamiento como materia prima para la fabricación de nuevos productos.

Una vez que tenemos todos los trocitos de plástico separados según material y limpios, se procede a su reciclaje mediante la fabricación de nuevos productos. (RECYTRANS Soluciones Globales para el reciclaje, 2013)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.3.2.3 Composición de las botellas de plástico trituradas recicladas

De acuerdo, (Bolaños Zea, 2019), las botellas de plástico recicladas de bebidas como aguas o gaseosas son de PET (Polietileno Tereftalato), el cual es un tipo de plástico reciclable; asimismo PET está hecho de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire.

2.2.3.2.4 Obtención de las botellas de plástico trituradas recicladas

Según (Vidal, Grajales, & Ramirez Lopez, 2014), se recuperan las botellas de plástico y se transportan a la empresa, donde se seleccionan por el color y se asegura el tipo de material. Después del proceso de selección, los plásticos elegidos se limpian, quitando las etiquetas y las tapas de las botellas, y se lavan para quitar cualquier sustancia contaminante. Durante el proceso de lavado, se realiza una trituración inicial del material. Luego, se lleva el material a la secadora y se almacena. Posteriormente, se somete a trituración donde el producto final es el BPTR en forma de hojuela o escama. El material se lava nuevamente y se somete a fuerza centrífuga, con lo cual se recupera el BPTR en polvo, residuo de la trituración. El producto final es enviado a empresas manufactureras, donde se producen vajillas, textiles, entre otros, las cuales usan como materia prima el BPTR reciclado.

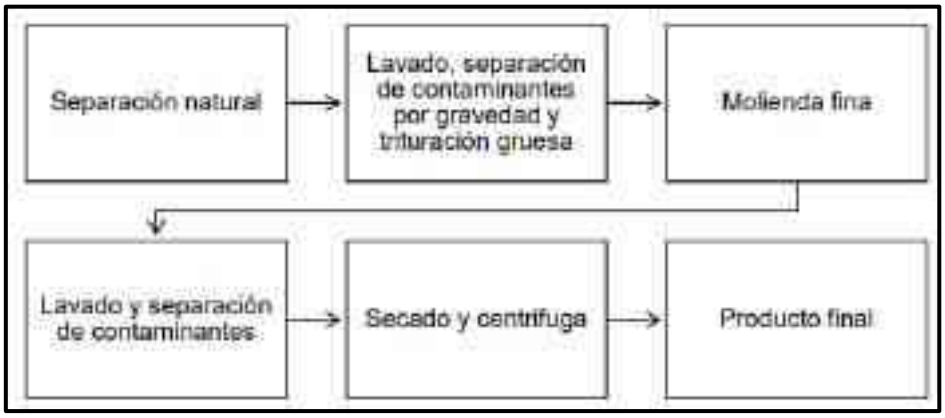


Figura 6. Proceso de obtención del BPTR.

Fuente: (Vidal, Grajales, & Ramirez Lopez, 2014)

2.2.3.3 Neumáticos

2.2.3.3.1 Definición

El neumático es una pieza de forma toroidal, y realizada a partir del caucho, que se dispone en las ruedas de diversos vehículos y maquinarias.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Gracias al neumático, el vehículo o aparato en cuestión, se adhiere al pavimento permitiendo el arranque y el frenado de los mismos. (Ucha, 2013)

2.2.3.3.2 Grano de neumático reciclado

De acuerdo con (Díaz Claros & Castro Celis, 2017), es un material obtenido de las llantas en desuso de los vehículos automotores, que por lo general tiene un destino no muy controlado ambientalmente, rellenos sanitarios, plantas térmicas, basureros a cielo abierto, entre otros, que generan un daño ambiental importante.

Se obtiene mediante procesos de molienda de llantas usadas, disminuido en tamaño, este material es utilizado en diferentes obras de ingeniería civil, como lo son en rellenos de terraplenes, materiales de contención, pisos de parques, como modificador en las mezclas asfálticas, entre otros.

2.2.3.3.3 Composición de neumáticos usados

Según (Cano Serrano, Cerezo , & Urbina Fraile, 2010), Los neumáticos se componen esencialmente de caucho sintético o natural, negro de carbono, óxido de Zinc, acero, material textil y otros aditivos.

Las substancias contenidas en los neumáticos utilizados en vehículos son:

Caucho 48%

Negro de carbono 22%

Metal 15%

Textil 5%

Oxido de zinc 1%

Azufre 1%

Aditivos 8%

2.2.3.3.4 Obtención de Granos de neumáticos reciclados

Según el sitio web (Casiopea, 2010), El proceso para la obtención del GNR se origina con unas semillas generalmente de Hevea, el látex líquido cae en unos recipientes informes, donde se solidifica, para luego ser recolectado.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Se compacta en un cubículo móvil, dando como resultado pacas de GNR natural, listas para convertirse en parte fundamental de neumáticos, cámaras y demás.

Luego, para darle mayor dureza y durabilidad, el GNR natural se vulcaniza, se hace pasar el GNR entre rodillos para así hacerlo maleable.

Luego, se agrega el óxido de zinc como agente activante, mientras se continúa con la mezcla hasta lograr la homogeneización.
Luego, se le agrega carbonato de calcio como carga a la mezcla. También se le agrega, como otra opción en este proceso, caolín. Así se pueden obtener dos diferentes productos de GNR. Con un molino de GNR se obtienen láminas grandes de este material, luego, estas láminas se ponen en moldes a 150º y bajo la presión de 50 k fuerza por centímetro cuadrado durante 20 minutos, la que proporciona las condiciones necesarias para la reacción química efectiva.
Se recortan las rebabas de las láminas, las que luego sirven de base para la construcción de los neumáticos/forros.

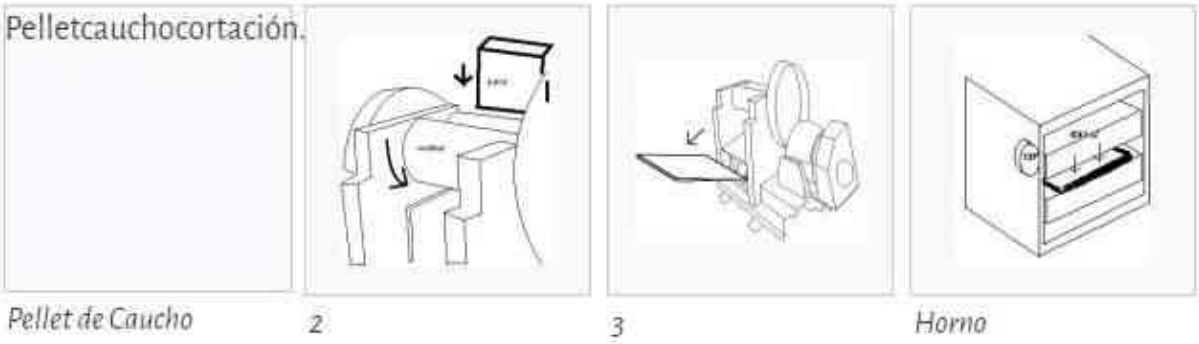


Figura 7 . Proceso de obtención de láminas de GNR
Fuente: (Casiopea, 2010)

2.2.4 Mezcla asfáltica

2.2.4.1 Definición

Una mezcla asfáltica también denominado aglomerado, en general es una combinación de un ligante hidrocarbonato y agregados minerales pétreos. Las proporciones relativas des estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla terminada para un determinado uso. Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, además de transmitir suficientemente las cargas debido al tráfico a la explanada para que sean soportadas por está. (Yepes Piqueras, 2014)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de cemento asfáltico. El cemento asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total. (Padilla Rodriguez , 2004)

El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura (160°C aprox.), para que en seguida sea esparcida y compactada en obra. (Estrada Escalante, 2017, p. 36)

Existen dos tipos de procedimientos para calcular dichas cantidades:

- Marshall
- Hveem
- Adicionalmente SUPERPAVE

2.2.4.2 Comportamiento de la mezcla asfáltica

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

(Asphalt Institute, 1992)

2.2.4.2.1 Densidad de la mezcla

La densidad de la mezcla es la relación entre el peso de la mezcla por unidad de volumen. Si bien es cierto que esta característica no es utilizada en el diseño de la mezcla, se emplea para los controles de compactación. A la mezcla asfáltica compactada en el laboratorio se le asigna la densidad de convencional y será este el punto de referencia en os controles. (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

2.2.4.2.2 Vacíos de aire o vacíos

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Los vacíos de aire o vacíos están conformados por el aire atrapado en la mezcla compactada. A menor porcentaje de vacíos de aire la mezcla será menos permeable. En el diseño de mezclas convencionales, los vacíos de aire están entre 3 a 5% en laboratorio, pero en campo se permite tener vacíos de aire no mayores al 8% permitido que la carpeta se compacte bajo tránsito. (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

2.2.4.2.3 Vacíos en el agregado mineral

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) consideran los volúmenes ocupados por los vacíos de aire atrapados y el asfalto efectivo. El diseño considera un porcentaje mínimo de VMA dependiendo del tamaño del agregado. Si el porcentaje del VMA son bajos la película de asfalto será delgada y la mezcla será susceptible a oxidación. Con altos porcentajes de VMA la película de asfalto será más gruesa y la mezcla será más durable. (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006).

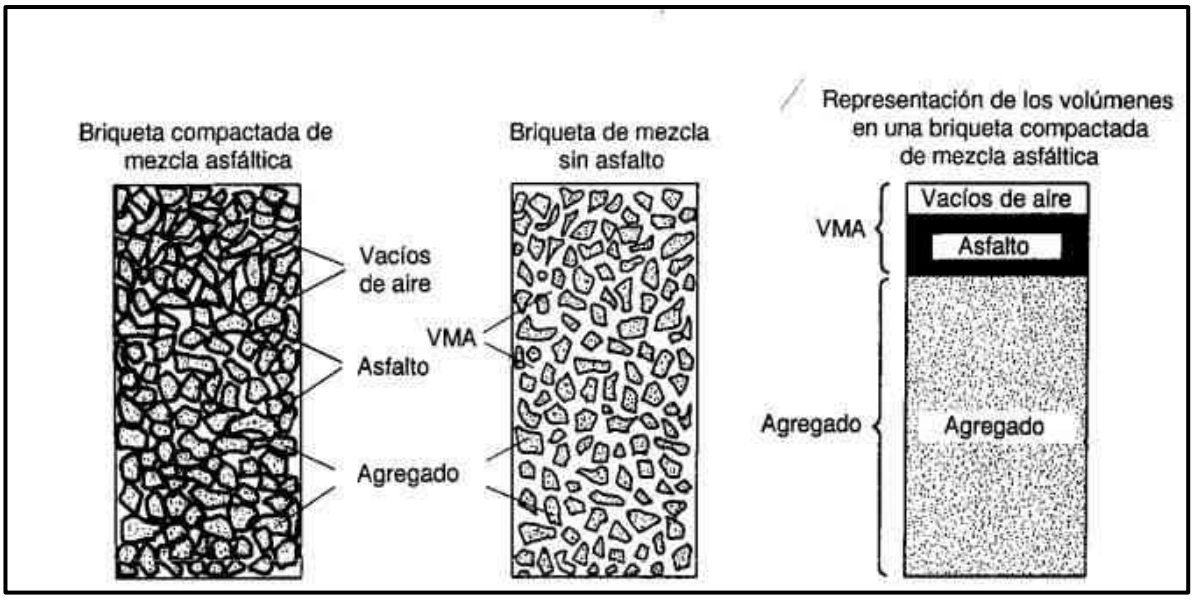


Figura 8. Ilustración de los vacíos en el agregado mineral.

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tamaño Máximo en mm Porcentaje		VMA mínimo, por ciento		
		Vacíos de Diseño, por ciento[3]		
mm	in.	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

[1] Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11 (AASHTO M 92)
[2] El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño mas grande que el primer tamiz que retiene mas de 10 por ciento del material.
[3] Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

Figura 9. Valores Requeridos para vacíos en el agregado mineral.

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

2.2.4.2.4 Contenido de asfalto

El contenido óptimo para la preparación de la mezcla debe ser el necesario para cubrir con una película de asfalto la superficie de las partículas pétreas, sin llenar completamente los vacíos, ya que éstos deben ser llenados con las partículas más finas. (UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN, 2004)

El contenido óptimo de asfalto de la mezcla está en función de la granulometría y el porcentaje de absorción del material. Mezclas con alto porcentaje de filler (mayor superficie especifica) requerirán mayor porcentaje de asfalto (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006), asimismo mezclas porosas (% filler menor de 2%) necesitan menor porcentaje de asfalto.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.4.3 Propiedades consideradas en mezclas asfálticas

Existen varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente, estas propiedades son de vital importancia debido a que es importante garantizar que la mezcla asfáltica posea cada una de estas.

Estas propiedades que deben ser consideradas son: estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

2.2.4.3.1 Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones, además se debe tener en cuenta que valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto, es por ello que entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Tabla 3
Causas y Efectos de una Estabilidad Baja

Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento, y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño Medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

Nota. Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.4.3.2 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto, y separación de las películas de asfalto. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad. (Asphalt Institute, 1992)

Tabla 4

Causas y Efectos de durabilidad en un pavimento

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falla de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua (hidrofílicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Nota. Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

2.2.4.3.3 Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. (Asphalt Institute, 1992)

En la tabla N°5, se presentan causas y efectos concernientes a valores bajos de impermeabilidad en pavimentos asfálticos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 5

Causas y efectos de un pavimento asfáltico permeable

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

Nota. Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

2.2.4.3.4 Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada, asimismo las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar.
En la tabla N°6, se presentan causas y efectos de problemas en la baja trabajabilidad.

Tabla *6*

Causas y efectos de problemas en la baja trabajabilidad

CAUSAS	EFECTOS
Tamaño máximo de partícula grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

Nota. Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

2.2.4.3.5 Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. Asimismo, se puede afirmar que una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.4.3.6 Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito, a medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. (Asphalt Institute, 1992).

Tabla 7

Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

Nota. Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

2.2.4.3.7 Resistencia al Deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada, es por ello que las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento. (Asphalt Institute, 1992)

Tabla 8

Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento

CAUSAS	EFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.5 Mezclas asfálticas adicionadas

(Corbacho Chipana, 2018) Indica que los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto o sustitución de agregado pétreo por un polímero o hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, con el objetivo de producir mezclas de mejor comportamiento y desempeño.

Según (Montejo Fonseca, Ingenieria de Pavimentos para Carreteras, 2002), El asfalto ideal es aquel que muestra una característica más o menos constante en un amplio rango de temperaturas de servicio, convirtiéndose en un fluido viscoso a las temperaturas de mezcla y compactación, y por ello la adición de un polímero adecuado modifica la susceptibilidad térmica del asfalto obteniéndose una mejora en el comportamiento visco-elástico a las temperaturas de servicio a las deseadas en un asfalto ideal.

2.2.6 Diseño de mezclas asfálticas

Según (Avellán Cruz, 2007), el objetivo principal del diseño de mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) que produzcan una mezcla con:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de la colocación.
- Un contenido de vacíos lo suficientemente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

De acuerdo a la normativa AASHTO y ASTM existen dos tipos de diseños de mezclas asfálticas:

- Marshall
- Hveem

Además, de acuerdo a (Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gomez Lopez , Alonso Romero , & Alarcón Orta, 2004), el Strategic Highway Research Program (SHRP), desarrollo de un nuevo sistema para especificar materiales asfálticos, el producto final del programa es un nuevo sistema llamado Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement). Este método evalúa los

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

componentes de la mezcla asfáltica en forma individual (agregado mineral y asfaltos) y su interacción cuando están mezclados.

2.2.6.1 Diseño de mezclas asfálticas mediante método Marshall

El método MARSHALL es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica en caliente por medio del análisis de su estabilidad/fluencia y densidad de vacíos que garanticen dicha mezcla asfáltica en caliente durable.

El propósito del método de Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados.

De acuerdo con (Avellán Cruz, 2007), el método Marshall solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación, que usan cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad y que contienen agregados con tamaño máximo de 25 mm (1 pulgada). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos.

De igual manera para realizar el método Marshall, se requerirán probetas de 64 X 102 mm de diámetro. Enseguida se realiza una serie de muestras, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferente contenido de asfalto, son preparadas de acuerdo a procedimientos específicos.

Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de las muestras compactados.

El método de Marshall también facilita información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, establece densidades y contenidos óptimos de vacío.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

En la figura N°10 se detalla gráficamente el ensayo de una probeta con el método de diseño Marshall.

Figura 10. Probeta sometida a ensayo Marshall
Fuente: Adaptado de Google

2.2.6.1.1 Parámetros a determinar con el método de diseño Marshall.

Según el (Asphalt Institute, 1992), los parámetros a determinar son los siguientes:

- *Determinación del peso específico-total*

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.

- *Ensayo de estabilidad y fluencia*

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla.

- *Valor de estabilidad marshall*

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente, de igual manera debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

- *Valor de fluencia marshall*

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Es por ello que podemos concluir que, las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito.

- *Análisis de densidad y vacíos*

El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

- *Análisis de vacíos*

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos).

- *Análisis de peso unitario*

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 1000 Kg/m3 (62.4 lb/ft3)

- *Análisis de VMA*

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, está definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla

- *Análisis de VFA*

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto.

2.2.6.1.2 Parámetros Volumétricos

Según (Garnica Anguas, Delgado Alamilla, & Sandoval Sandoval , 2005), un factor que debe ser tomado en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica, es el de las

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

proporciones volumétricas del asfalto y de los componentes del agregado; o más simplemente, parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica.

Según (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006),los parámetros a considerar son los siguientes:

- *Gravedad específica Bulk del agregado.*

Debido a que el agregado total consiste de fracciones separadas de agregados grueso, fino, etc., es por tal motivo que se combinan las gravedades específicas.

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

Dónde:

G_{sb} : Gravedad específica bulk de la combinación de agregados.

P_1, P_2, P_n : Porcentajes individuales por peso del agregado.

G_1, G_2, G_n : Gravedad específica bulk individual del agregado.

- *Gravedad específica efectiva del agregado*

La gravedad específica efectiva se calcula con la gravedad específica teórica máxima de mezclas asfálticas (RICE) ASTM D-2041, de la manera siguiente:

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

Dónde:

G_{se}: Gravedad específica efectiva del agregado.

P_{mm}: Porcentaje en peso del total de la mezcla suelta, 100%.

P_b: Porcen

taje de asfalto para el peso total de la muestra.

G_{mm}: Gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041) de la mezcla (sin vacíos de aire).

G_b: Gravedad específica del asfalto.

- *Gravedad específica teórica máxima de mezclas con diferentes contenidos de asfalto*

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Este parámetro se calcula para determinar el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto.

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

Dónde:

G_{mm}: Gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041) de la mezcla (sin vacíos de aire).

P_{mm}: Porcentaje en peso del total de la mezcla suelta, 100%.

P_s: Contenido de agregado, porcentaje en peso del total de la mezcla.

P_b: Porcentaje de asfalto para el peso total de la muestra.

G_{se}: Gravedad específica efectiva del agregado.

G_b: Gravedad específica del asfalto.

- *Absorción de asfalto*

La absorción de asfalto se expresa de la siguiente manera:

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

Dónde:

P_{ba}: Asfalto absorbido, porcentaje del peso de agregado.

G_{se}: Gravedad específica efectiva del agregado.

G_b: Gravedad específica del asfalto.

G_{sb}: Gravedad específica bulk del agregado.

- *Contenido de asfalto efectivo de la mezcla*

Mediante este parámetro determinamos el contenido de asfalto que cubre el exterior del agregado.

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100}P_s$$

Dónde:

P_{be}: Contenido de asfalto efectivo, porcentaje del peso total de la mezcla.

P_b: Porcentaje de asfalto para el peso total de la muestra.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

P_{ba}: Asfalto absorbido, porcentaje del peso de agregado.

P_s: Contenido de agregado, porcentaje en peso del total de la mezcla.

- *Porcentaje de VMA en mezcla compactada*

Este parámetro define los vacíos entre las partículas de agregado de la mezcla compactada, incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo.

Dónde:

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

VMA: Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk.

G_{sb}: Gravedad específica bulk del agregado.

G_{mb}: Gravedad específica bulk de la mezcla compactada (AASHTO T166; ASTMD D1188 o D2726.

P_s: Contenido de agregado, porcentaje en peso del total de la mezcla.

- *Porcentaje de vacíos de aire en mezcla compactada*

Este parámetro representa los pequeños vacíos de aire entre las partículas de agregados recubiertos en la mezcla total compactada.

$$V_a = 100 - \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Dónde:

V_a: Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

G_{mm}: Gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041) de la mezcla (sin vacíos de aire).

G_{mb}: Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

- *Porcentaje VFA en mezclas compactadas*

Este parámetro define el porcentaje de los vacíos entre partículas (VMA) que se llenan con asfalto, pero no incluye el porcentaje de asfalto absorbido.

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

Dónde

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

VFA: Vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA: Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk.

V_a: Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

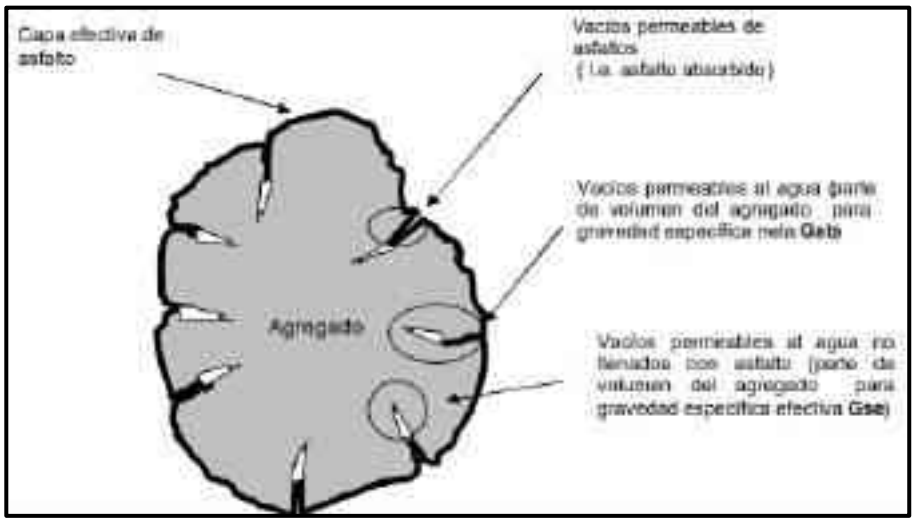


Figura 11. Parámetros Volumétricos

Fuente: Adaptado de Google

2.2.7 Análisis de deformaciones permanentes

2.2.7.1 Resistencia a la deformación permanente

Es la resistencia que presenta la mezcla asfáltica a la falla que se presenta con la formación de "ahuellamientos" que comprometen el confort y la seguridad, y en consecuencia la calidad de la circulación de los usuarios especialmente en días de lluvia donde la acumulación de agua, hace altamente riesgosa la conducción de vehículos, este tipo de fallas en el asfalto ocurre básicamente por un exceso de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica o gradación de la mezcla asfáltica. (Estrada Escalante V. , 2017).

La deformación permanente se controla mediante las propiedades de los agregados y las propiedades empíricas de las mezclas. Por ejemplo, la angularidad del agregado grueso está definida como aquellas partículas más grandes que 4,75 mm con una cara triturada. El porcentaje de caras trituradas requerido está especificado de acuerdo con el nivel de tránsito y la profundidad desde la superficie. Así, por ejemplo, las capas de desgaste superficial requerirán un mayor número de caras trituradas que las capas de base. (Montejo Fonseca, 2002).

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Un pavimento sujeto a cargas repetidas de tránsito desarrollara deformaciones verticales a compresión (ε_c) que resultarán posteriormente en deformaciones permanentes.

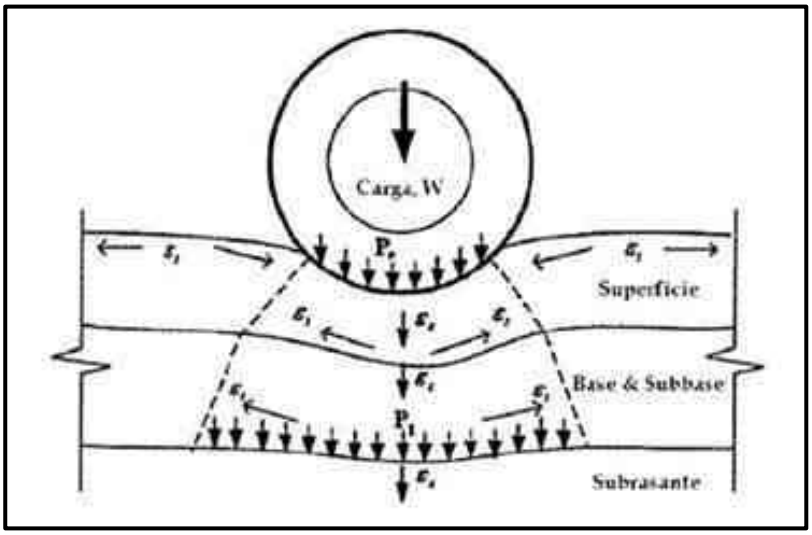


Figura 12 .Deformaciones en pavimentos flexibles y distribución de cargas

Fuente: (Leiva, 2017)

2.2.7.2 Ahuellamiento

El ahuellamiento es una falla funcional asociada a las repeticiones de cargas. Es causado por deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento, o en la subrasante, producidas principalmente por consolidación o desplazamiento lateral de los materiales debido al tráfico. Un ahuellamiento severo puede resultar en hidroplaneo, y potencialmente la falla estructural en el pavimento (Huang, 2004).

Asimismo, de acuerdo a (De la Cruz Bazan & Porras Zavala, 2015), el ahuellamiento consiste en una depresión continua a lo largo de la capa de rodadura. Las cargas repetitivas de tránsito conducen a deformar permanentemente cualquier capa de componen la estructura del pavimento, sin embargo, cuando la carpeta asfáltica recién colocada presenta ahuellamiento es debido al exceso de asfalto en la mezcla, es decir el óptimo de asfalto se ha sobrepasado y genera por consiguiente pérdida de cohesión.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

El ahuellamiento se puede originar por varias razones: propiedades deficientes de los materiales que componen el paquete estructural, propiedades volumétricas erróneas y por las solicitaciones sobre la estructura debidas al tránsito y las condiciones climáticas. (Delbono & Rebollo, 2017)

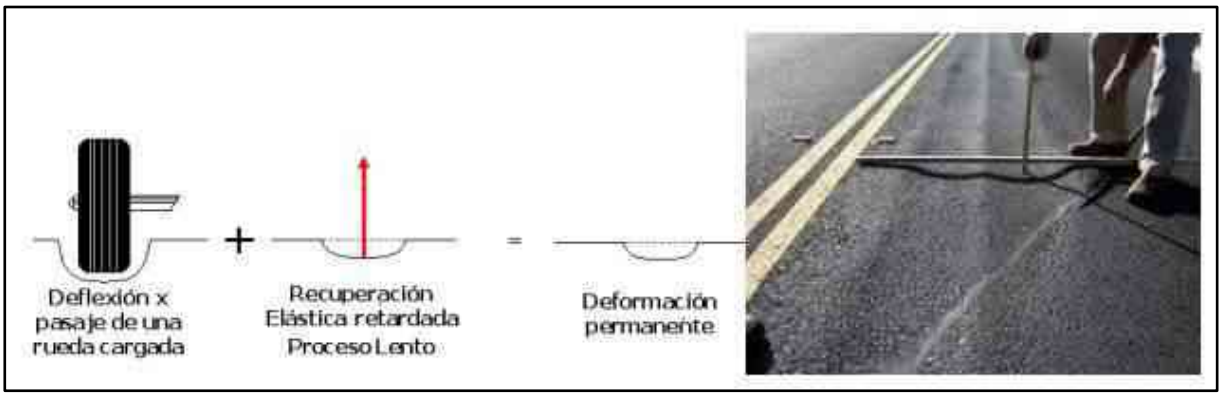


Figura 13. Deformaciones Permanentes (Ahuellamiento)
Fuente:(Delbono & Rebollo, 2017)

2.2.7.3 Factores de la mezcla frente al ahuellamiento

Según (Delbono & Rebollo, 2017), las mezclas tradicionales se producen en base a granulometrías continuas densas. Estas mezclas, en condiciones extremas de servicio (carga y temperatura), suelen ahuellarse indefectiblemente.

Para que una mezcla sea resistente al ahuellamiento, debe existir un contacto íntimo entre las partículas gruesas, ser más resistentes y de mayor fricción interna. Un alto contenido de asfalto genera un efecto lubricante que reduce el contacto entre las partículas de los agregados disminuyendo así la fricción interna de la mezcla. Por lo tanto, con contenidos excesivos de asfalto se tendrá una mezcla más deformable y con mayor probabilidad de ahuellarse.

2.2.8 Análisis de daño inducido por humedad en mezclas asfálticas

El daño por humedad es un problema generalizado en pavimentos asfálticos que conlleva a la ocurrencia de fallas prematuras. Este tipo de daño puede ocurrir debido a una pérdida de adherencia entre el cemento asfáltico y el agregado, o a la difusión de humedad a través de la mezcla asfáltica, debilitando la estructura de la mezcla y haciéndola más susceptible a cargas cíclicas.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

De acuerdo con (Lopez & Miró, 2017), Las mezclas asfálticas, independientemente de su composición, van a sufrir el daño inducido por la humedad. Éste ha sido reconocido desde hace mucho tiempo por contribuir seriamente a la degradación prematura de los pavimentos asfálticos. El daño asociado a la misma es un serio y complejo problema con consecuencias económicas importantes. Este daño se manifiesta, en primer lugar, por el hecho de que se produce una reducción de la resistencia en la mezcla bituminosa, la cual puede contribuir al desarrollo de diversas formas de deterioro del firme, como el agrietamiento y la formación de roderas, reduciendo así la vida del firme.

2.2.9 Requerimientos normativos de materiales que conforman la mezcla asfáltica

2.2.9.1 Requerimientos normativos para agregado grueso

Según el (MTC, 2013), Los agregados gruesos, deben cumplir además con los requerimientos, establecidos en la tabla 9.

Tabla 9

Requerimientos para los agregados gruesos

Ensayos	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.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	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.

* Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 430.02.
- La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

Nota. Fuente: Manual de carreteras-especificaciones técnicas

De igual manera, (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010), indica los requisitos que deben cumplir los agregados gruesos, establecidos en la tabla 10.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Tabla 10

Requerimientos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnmm)	
		< 3000	> 3000
Pérdida en Sulfato de Sodio	NTP 400.016:1999	12 % máximo	10 % máximo
Pérdida en Sulfato de Magnesio	NTP 400.016:1999	18 % máximo	15 % máximo
Abrasión Los Angeles	NTP 400.018:2002	40 % máximo	35 % máximo
Índice de Durabilidad	MTC E214-2000	35 % mínimo	
Partículas chatas y alargadas *	NTP 400.040:1999	15 % máximo	
Partículas fracturadas	MTC E210-2000	Según Tabla 12	
Sales Solubles	NTP 339.152:2002	0,5 % máximo	
Absorción	NTP 400.021:2002	1,00 %	Según Diseño
Adherencia	MTC E516-2000	> 95	

* La relación a emplearse para la determinación es: 5:1 (ancho/espesor o longitud/ancho)

Nota. Fuente: NTE. CE.010 Pavimentos Urbanos

2.2.9.2 Requerimientos normativos para agregado fino

Según el (MTC, 2013), Los agregados finos, deben cumplir además con los requerimientos, establecidos en la tabla 11.

Tabla 11

Requerimientos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO 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.
Índice de Plasticidad (malla N.° 200)	MTC E 111	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.

**Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.

Nota. Fuente: Manual de carreteras-especificaciones técnicas

Asimismo, (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010), indica los requisitos que deben cumplir los agregados finos, establecidos en la tabla 12.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 12

Requerimientos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (msnmm)	
		< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	Según Tabla 13	
Angularidad del agregado fino	MTC E222-2000	Según Tabla 14	
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E220-2000	4 % mínimo	6 % mínimo
Índice de Durabilidad	MTC E214-2000	35 mínimo	
Índice de Plasticidad	NTP 339.129:1999	Máximo 4	NP
Sales Solubles Totales	NTP 339.152:2002	0,5 % máximo	
Absorción	NTP 400.022:2002	0,50 %	Según Diseño

Nota. Fuente: NTE. CE.010 Pavimentos Urbanos

2.2.9.3 Requerimientos normativos para cemento asfáltico

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico clasificados por penetración son los que establece la Tabla 13. El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C. (MTC, 2013, p. 471)

Tabla 13

Especificaciones del cemento asfaltico clasificado por penetración

Nota. Fuente: Manual de carreteras-especificaciones técnicas.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.10 Requerimientos normativos de gradación de agregados pétreos para mezcla asfáltica

2.2.10.1 Requerimientos normativos de gradación de agregados para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la Tabla 14. (MTC, 2013)

Tabla 14

Husos granulométricos según MTC

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. Fuente: Manual de carreteras-especificaciones técnicas

Alternativamente puede emplearse las gradaciones Especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto.

De igual manera, (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010), indica las gradaciones de agregados pétreos, establecidos en la tabla 15.

Tabla 15

Gradaciones de los 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)	08 - 17	08 - 17	09 - 19
75 µm (N° 200)	04 - 08	04 - 08	05 - 10

Nota. Fuente: NTE. CE.010 Pavimentos Urbanos

2.2.10.2 Requerimientos normativos de gradación de agregados para mezcla Superpave

Según (Delgado Alamilla, Garnica Anguas, Villatoro Mendez, & Rodriguez Oropeza, 2006), para especificar la granulometría del agregado, se emplean dos conceptos: los puntos de control y la zona restringida. Los puntos de control son puntos de paso obligado para la curva

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

granulométrica y corresponden al tamaño máximo nominal, un tamaño intermedio (2.36 mm) y un tamaño de finos (0.075 mm).

La zona restringida ha sido especificada para asegurarse que se desarrolla una adecuada estructura en la mezcla. La zona restringida se ubica entre los tamaños intermedios (4.75 o 2.36 mm) y 0.3 mm. Forma una banda por la cual la curva granulométrica no deberá pasar. Se especifica que las granulometrías deben pasar ya sea abajo o arriba de la zona. Mezclas que pasan por arriba tenderán a ser arenosas y a tener estructuras de agregado débiles en comparación con las que pasan debajo de la zona restringida

En la Tabla 16 se presentan las cinco designaciones propuestas en la metodología Superpave.

Tabla 16
Graduaciones para Mezclas Superpave

Designación Superpave	Tamaño máximo nominal	Tamaño máximo
37,5 mm	37,5	50,0
25,0 mm	25,0	37,5
19,0 mm	19,0	25,0
12,5 mm	12,5	19,0
9,5 mm	9,5	12,5

Nota. Fuente: (Delgado Alamilla, Garnica Anguas, Villatoro Mendez, & Rodriguez Oropeza, 2006)

En la tabla 17, se definen los puntos de control y las zonas de restricción recomendadas de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado, se debe tener en cuenta que todas estas combinaciones de agregado deben pasar y cumplir el rango de los puntos de control establecidos, asimismo, la granulometría deberá evitar la zona de restricción.

Tabla 17
Especificaciones de Gradación de Agregados Superpave

Tamaño estándar (mm)	Puntos de Control				
	Tamaño máximo Nominal				
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm
50.0					100
37.5				100	90-100
25.0			100	90-100	
19.0		100	90-100		
12.5	100	90-100			
9.50	90-100				
2.36	32-67	28-58	23-49	19-45	15-41
0.075	2.0-10.0	2.0-10.0	2.0-8.0	1.0-7.0	0.0-6.0
Tamiz	Zona Restringida				
4.75				39.5	34.7
2.36	47.2	39.1	34.6	26.8-30.8	23.3-27.3
1.18	31.6-37.6	25.6-31.6	22.3-26.3	18.1-24.1	15.5-21.5
0.60	23.5-27.5	19.1-23.1	16.7-20.7	13.6-17.6	11.7-15.7
0.30	18.7	15.5	13.7	11.4	10.0

Nota. Fuente: (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.11 Requerimientos normativos para mezcla asfáltica

Las características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso que se indican en la tabla 18, según corresponda al tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al diseño del proyecto. (MTC, 2013)

Tabla 18

Requisitos para Mezclas Asfálticas en Caliente

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 413-10		
Inmersión – Compresión (MTC E 518) 1. Resistencia a la compresión Mpa mín. 2. Resistencia retenida % (mín.)	2,1 75	2,1 75	1,4 75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,8-1,3	0,8-1,3	0,8-1,3
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% los deseable que tenga al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.
(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado mas fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.
(3) Para zonas de clima frio es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.
(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.
El Índice de Compactabilidad se define como: $\frac{1}{G_{EB}\,50 - G_{EB}\,5}$
Siendo $G_{EB}50$ y $G_{EB}5$, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

De igual manera, se establecen los requisitos mínimos para el porcentaje de vacíos en el agregado mineral en la tabla 19.

Tabla 19

Requisitos de porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N° 8)	21	-
4,25 mm (N° 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (3/4")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Ademas en la tabla 20, se indican los requisitos que debe cumplir la mezcla asfáltica con respecto al porcentaje de vacios llenos con asfalto.

Tabla 20

Requisitos de porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral

Tráfico (millones de ejes equivalentes)	VFA
≤0,3	70-80
>0,3-3	65-78
>3	65-75

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

Asimismo, el (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010), nos indica en la tabla 21 las características que deben cumplir las mezclas asfálticas en caliente.

Tabla 21

Requisitos de porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral

Criterio en el Método Marshall de Diseño de Mezclas*	Vías locales	Vías Colectoras y Arteriales	Vías Expresas
	EAL < 10^4	$10^4 \leq$ EAL < 10^6	EAL ≥ 10^6
	Tránsito Liviano	Tránsito Mediano	Tránsito Pesado
Números de golpes en cada cara de la probeta	35	50	75
Estabilidad mínima, kN	3,4	5,44	8,16
Flujo, 0,25 mm (min - max)	8 - 18	8 - 16	8 -14
Porcentaje de vacios llenos de aire**, (min - max)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Porcentaje de vacios, en el agregado mineral***, VMA (min - max)	Ver Tabla 32		
Porcentaje de vacios llenos de asfalto, VFA (min – max)	70 - 80	65 -78	65 -75

Nota. Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010)

De igual manera, nos indica en la tabla 22 los porcentajes minimos en el agregado mineral que debera cumplir la mezcla asfáltica.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 22

Requisitos de porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral

MALLA	VMA mínimo, porcentaje		
	Porcentaje de vacíos de diseño *		
	3,0	4,0	5,0
1,18 mm (N° 16)	21,5	22,5	23,5
2,36 mm (N° 8)	19,0	20,0	21,0
4,75 mm (N° 4)	16,0	17,0	18,0
9,50 mm (3/8")	14,0	15,0	16,0
12,5 mm (1/2")	13,0	14,0	15,0
19,0 mm (3/4")	12,0	13,0	14,0
25,0 mm (1.0")	11,0	12,0	13,0
37,5 mm (1.5")	10,0	11,0	12,0
50,0 mm (2.0")	9,50	10,5	11,5
63,0 mm (2.5")	9,00	10,0	11,0

Nota. Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010)

Es por ello también que, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2014), se dan recomendaciones para el diseño de mezclas asfálticas, como trabajar con granulometrías continuas, bien graduadas, tratando de lograr vacíos del agregado mineral (V.M.A.) superiores al 15%.

2.2.12 Control de calidad de materiales que conforman la mezcla asfáltica

2.2.12.1 Control de calidad de agregado grueso

2.2.12.1.1 Análisis granulométrico del agregado grueso- MTC E 204

De acuerdo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016), el objeto del ensayo es determinar por medio de una serie de tamices de abertura cuadrada la distribución de partículas de agregados grueso y fino en una muestra seca de peso conocido, se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados.

2.2.12.1.2 Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados- MTC E 207

Según, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016), tiene como objeto Establecer el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37,5 mm (1 .") para determinar la resistencia a la degradación utilizando la

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Maquina de Los Ángeles, es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen 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.

Figura 14 . Máquina de los Ángeles
Fuente: Adaptado de Google

2.2.12.1.3 Peso específico y absorción de agregados gruesos- MTC E 206

De acuerdo con (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo del ensayo es establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basadas en agregados remojados en agua después de 24 horas, usando los pesos obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción.

2.2.12.1.4 Determinación de partículas largas y achatadas- ASTM 4791/MTC E221

De acuerdo con (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016),este modo operativo se aplica a los agregados de origen natural o artificial,

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

incluyendo los agregados ligeros y no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3mm (1/4”) o mayores de 63mm (2 .”).

Se define como índice de aplanamiento de una fracción de agregado el porcentaje en peso, de las partículas que la forman, cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción.

Se define como índice de alargamiento de una fracción de agregado el porcentaje en peso, de las partículas que la forman, cuya dimensión máxima (longitud) es superior a 9/5 de la dimensión media de la fracción.

2.2.12.1.5 Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de Partículas fracturadas en el agregado grueso-MTC E 210

De acuerdo con (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016), tiene como finalidad determinar la aceptabilidad del agregado grueso con respecto a tales requerimientos relacionados al porcentaje de partículas fracturadas en los agregados gruesos

Cara fracturada, n.- una superficie angular, áspera y rugosa, o rota de un agregado ocasionada por chancado u otro medio artificial, o por medio natural (Ver Terminología ASTM D 8).

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016), una cara se considerará “una cara fracturada” solo si tiene un área proyectada al menos tan larga como un cuarto del área máxima proyectada (área transversal- sección máxima) de la partícula y la cara tiene borde bien definido, esta excluye picaduras o quiebres pequeños.

Partícula fracturada, n.- una partícula de agregado que tiene al menos un número mínimo de caras fracturadas especificadas (usualmente una o dos).

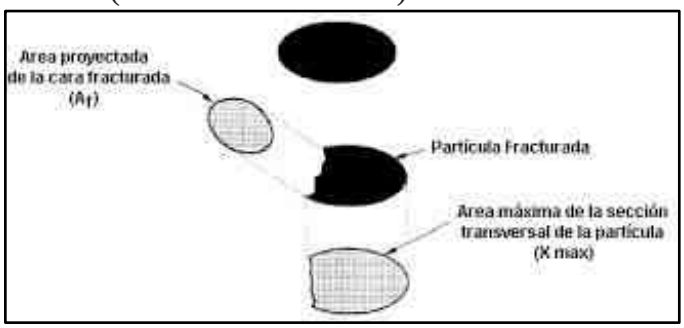


Figura 15. Partícula de agregado pétreo con fractura
Fuente: Adaptado de Google

2.2.12.1.6 Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio del agregado grueso- MTC E 209

Según, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016),suministra información útil para juzgar la alterabilidad de los agregados sometidos a la

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

acción de la intemperie, particularmente cuando no se dispone de información adecuada sobre el comportamiento del material expuesto a condiciones atmosféricas reales.

Es una medida a la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal que la soluciones cubra toda la muestra. Después del período de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución y se coloca en el horno de secar. Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.

2.2.12.2 Control de calidad de agregado fino

2.2.12.2.1 Análisis granulométrico del agregado fino- MTC E 204

De igual manera que en el numeral 2.2.12.1.1. Análisis Granulométrico de agregado grueso, este ensayo nos permite analizar el material que se tiene y poder gradar este (obtener una distribución de tamaños de partículas de los agregados), de tal manera que podamos conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total

2.2.12.2.2 Gravedad específica y absorción del agregado fino-MTC E 205

De acuerdo con (Univesidad Centroamericana, 2009), Cuando se examina la aptitud física de los agregados, es conveniente conocer y valorar las características propias de cada material, entre las cuales podemos nombrar la densidad, el peso específico y la absorción. Para poder medir las características anteriores es importante entender que todos los agregados son porosos hasta cierto punto, lo que posibilita la entrada de agua en los espacios de los poros. Por lo tanto se puede decir entonces que, un agregado húmedo puede tener agua en su interior y en su exterior como se ve con la figura 16.

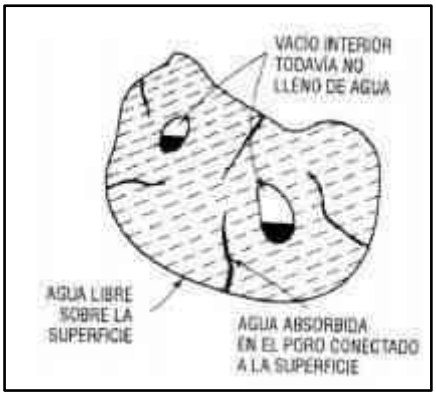


Figura 16 . Partícula de agregado húmedo en la que se muestra la distribución de agua interior y exterior

Fuente: (Univesidad Centroamericana, 2009)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Según, (Univesidad Centroamericana, 2009),el ensayo se basa en sumergir una muestra en agua por 24 4 h a esencialmente poros llenos. Después de transcurrido el tiempo, el material se remueve del agua, se seca la superficie de las partículas y se determina la masa. La muestra o una porción de ella se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra se seca al horno y la masa se determina de nuevo. Utilizando los valores de masa obtenida y volumen, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

2.2.12.2.3 Determinación limite líquido de los suelos-MTC E 110

Acorde a (Botía Diaz, 2015), El Límite Líquido se define como el porcentaje de humedad del suelo, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico. Cuando los suelos alcanzan porcentajes de humedad mayores al límite líquido, su comportamiento será el de un fluido viscoso. Este límite además de ser un parámetro esencial para la clasificación de los suelos, puede ser útil para determinar problemas de potencial de volumen, para estimar asentamientos en problemas de consolidación y en conjunto con el Límite plástico para predecir la máxima densidad en estudios de compactación. En la determinación de correlaciones de los suelos como la compresibilidad, permeabilidad y compactibilidad, es usado el límite líquido en conjunto con el límite plástico y el índice de plasticidad.

2.2.12.2.4 Determinación limite plástico e índice de plasticidad-MTC E 111

Según (Botía Diaz, 2015), El límite plástico fue definido por Atterberg como la frontera que existe entre los estados plástico y semisólido del suelo. En términos de laboratorio este límite es definido como el momento en términos de contenido de humedad, en que rollitos de aproximadamente 3 mm de diámetro empiezan a presentar desmoronamiento y agrietamiento. Es importante resaltar que el diámetro de los rollitos fue propuesto por Terzaghi, dado que Atterberg nunca especifico este parámetro. El índice de plasticidad es la diferencia entre los valores de Limite Liquido y Limite Plástico. Un Índice de plasticidad bajo, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 17. Equipos para Determinación de Limite Liquido y Limite plástico
Fuente: Adaptado de Google

2.2.12.2.5 Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio de los agregados finos-MTC E 209

De igual manera que en el numeral 2.2.12.1.6 Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio de los agregados gruesos, este método de ensayo cubre los procedimientos de prueba para evaluar la solides de muestras de agregado fino por los efectos de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, y como ya se explicó anteriormente es un método por el cual es posible estimar cualitativamente la durabilidad de roca bajo condiciones de intemperie.

2.2.12.2.6 Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino-MTC E 114

De acuerdo a (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016), Este método de ensayo se propone servir como una prueba de correlación rápida de campo. El propósito de este método es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4 (4,75mm). El término “equivalente de arena”, expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Básicamente, fundamenta en liberar de la muestra de ensayo los posibles recubrimientos de arcilla adheridos a las partículas de arena mediante la adición de una solución coagulante que favorece la suspensión de las partículas finas sobre la arena, obteniendo con ello su contenido respecto de las partículas de mayor tamaño.

Figura 18. Conjunto de Equipo para determinación de Equivalente de Arena
Fuente: Adaptado de Google

2.2.12.2.7 Método de ensayo Estándar para la gravedad especifica de solidos de suelo mediante picnómetro de agua (Calibración de Fiola)-MTC E 113

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016), la gravedad específica de los sólidos de suelo es usado en el cálculo de las relaciones de fase de suelos, tales como relación de vacíos y grado de saturación. La gravedad específica de sólidos de suelo es usada para calcular la densidad de los sólidos de suelo. Esto se logra multiplicando su gravedad específica por la densidad de agua (a una temperatura apropiada).

El término de sólidos de suelo es típicamente asumido a representar partículas minerales formadas naturalmente o suelo como partículas que no son solubles rápidamente en el agua. Por lo tanto, La gravedad específica de sólidos de suelo conteniendo material extraño, tal como cemento, limo, y como un material soluble en el agua, tal como cloruro de sodio, y suelos conteniendo material con una gravedad específica menor que el de él, típicamente requiere de un tratamiento especial o una definición calificada de su gravedad específica. Las balanzas, tamaños de picnómetro, y masas de espécimen son establecidos para obtener resultados de ensayo con tres dígitos significantes.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

De igual manera su objetivo es determinar el valor de K para correcciones por temperatura a la gravedad especifica en este caso de los agregados finos.

2.2.12.3 Control de calidad de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR)

2.2.12.3.1 Análisis granulométrico de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR)- MTC E 204

Debido a que no se tiene un ensayo estandarizado para análisis granulométrico de Botellas de plástico trituradas recicladas, este se realiza mediante el mismo procedimiento que para los agregados gruesos y finos MTC E 204, y obtener la distribución de tamaños de partículas de los agregados.

2.2.12.3.2 Peso específico y absorción de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR)- MTC E 206

De igual manera, como no se cuenta con un ensayo estandarizado para la obtención de peso específico y absorción de este material, se realiza el mismo procedimiento que en el ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos- MTC E 206, se realiza la obtención de peso específico de las botellas de plástico trituradas recicladas, con la finalidad de obtener el peso específico aparente, bulk, y la absorción del material.

2.2.12.4 Control de Calidad de Granos de neumáticos reciclados (GNR)

2.2.12.4.1 Análisis granulométrico de Granos de neumáticos reciclados (GNR)- MTC E 204

Debido a que no se tiene un ensayo estandarizado para análisis granulométrico de Granos de neumáticos reciclados-GNR, este se realiza mediante el mismo procedimiento que para los agregados gruesos y finos MTC E 204, y obtener la distribución de tamaños de partículas de los agregados.

2.2.12.4.2 Peso específico y absorción de Granos de neumáticos reciclados GNR- MTC E 206

De igual manera, como no se cuenta con un ensayo estandarizado para la obtención de peso específico y absorción de este material, se realiza el mismo procedimiento que en el ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos- MTC E 206, se realiza la obtención de peso específico del GNR, con la finalidad de obtener el peso específico aparente, bulk, y la absorción del material.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.12.5 Control de Calidad de Cemento Asfáltico

2.2.12.5.1 Penetración de los materiales bituminosos- MTC E 304

De acuerdo con (Paladines Pardo, 2015), se trata de un método de ensayo empírico antiguo, que permite medir la dureza o consistencia del betún asfaltico. Consiste en la penetración de una aguja normalizada de 100 g. la cual se introduce en un recipiente con betún a una temperatura de referencia de 25 °C por un tiempo de 5 segundos, midiéndose después la penetración de la aguja en unidades de 0.1 mm

El objetivo es determinar la medida de la consistencia del producto. Se determina midiendo en decimas de mm la longitud que entra una aguja normalizada en una muestra con condiciones especificadas de tiempo, temperatura y carga. Esto mide si el producto es líquido, semisólido o sólido. La consistencia varía con la densidad, disminuyendo la consistencia al aumentar la densidad

Figura 19. Penetrómetro de Asfalto
Fuente: Adaptado de Google

2.2.12.6 Control de Calidad de Mezcla Asfáltica Convencional y adicionada

2.2.12.6.1 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato marshall- MTC E 504

De acuerdo con (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016), tiene como objetivo determinar a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezcla bituminosa para pavimentación, de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diámetro, el diseño de una mezcla asfáltica y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento, por medio del método manual Marshall, asimismo Los especímenes de mezclas bituminosas compactadas, moldeadas por este procedimiento son empleados para

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

varios ensayos físicos tales como estabilidad, flujo, resistencia a tracción indirecta y módulos. El análisis de densidad y vacíos también es conducido sobre especímenes para diseño de mezcla y evaluación de la compactación en campo.

2.2.12.6.2 Peso específico aparente y peso unitario de mezcla asfáltica compactada empleando especímenes saturados con superficie seca- MTC E 514

De acuerdo con (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016), tiene como objetivo determinar el peso específico aparente y el peso unitario de especímenes de mezclas asfálticas compactadas, para emplearse únicamente con mezclas asfálticas compactadas de granulometría densa o que prácticamente no sean absorbentes.

2.2.12.6.3 Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad (Lottman Modificado)- MTC E 522 AASHTO T-283

De acuerdo con (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016), tiene como objetivo Evaluar la susceptibilidad de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción directa.

El método propone evaluar la resistencia de las mezclas asfálticas compactadas, al daño causado por la humedad, utilizando el método propuesto por la norma ASSHTO T 283: conocido como Test de Lottman modificado. Es un ensayo que se ajusta más a las condiciones de obra cuantificando la adhesividad. El mismo ha permitido determinar la resistencia a la tracción indirecta de las muestras, midiendo la pérdida de cohesión de una mezcla compactada como resultado de los efectos de la saturación acelerada en agua, permitiendo medir la resistencia de la mezcla en su conjunto (Centro de Investigación Vial UTN, 2015)

Figura 20. Probeta de asfalto sometida a carga para el ensayo de tracción indirecta
Fuente: Adaptado de Google

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.12.6.4 Método estándar de prueba para preparar y determinar la densidad de las muestras de mezcla de asfalto mediante el compactador giratorio Superpave AASHTO T-312 (Standard Method of Test for Preparing and Determining the Density of Asphalt Mixture Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor AASHTO T-312)

De acuerdo (AASHTO, 2014), esta norma se utiliza para preparar muestras para determinar las propiedades mecánicas y volumétricas de las mezclas de asfalto. Las muestras simulan la densidad, la orientación del agregado y las características estructurales obtenidas en la calzada real cuando se utiliza el procedimiento de construcción adecuado en la colocación en la mezcla de pavimentación.

Asimismo, este ensayo usa como principal equipo el Compactador Giratorio Superpave el cual de acuerdo con (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006), fue diseñado para compactar muestras a densidad similar a la que se obtendrá bajo tráfico. La compactación tiende a orientar las partículas de agregado de manera similar a las observadas en campo, además son 3 los parámetros que se controlan durante la realización del ensayo los cuales son: presión vertical que es de 600 KPa, Angulo de inclinación que es de 1.25° y la velocidad de rotación que es de 30 rev/min.

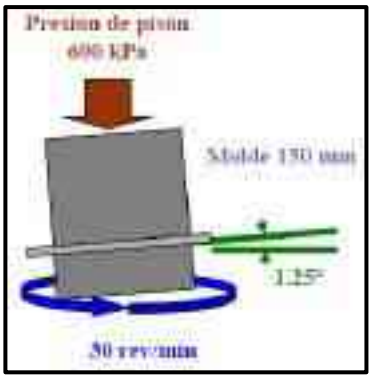


Figura 21. Esquema de Compactación de molde Giratorio Superpave.
Fuente: (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

El Compactador Giratorio utiliza muestras de 4 ó 6 pulg. de diámetro. Actualmente las especificaciones son para muestras de 6 pulg. El número de revoluciones se basa en el nivel del tráfico y el promedio de las temperaturas de aire más altas de diseño. Mezclas que son expuestas a mayores temperaturas y altos niveles de tráfico en el campo, densificarán más, de esa manera se compactará en el laboratorio a mayor densidad.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.2.12.6.5 Ensayo de Rueda de Hamburgo para mezclas asfálticas en caliente- AASHTO T-324

Este método utiliza un equipo compuesto por dos ruedas de acero que se mueven axialmente sobre una muestra de mezcla asfáltica producida y compactada en el laboratorio, o sobre un corazón extraído del campo de 250 mm de diámetro. La carga en cada rueda es de 158 lb, con una presión de contacto de 217 psi (equivalente a 98.066 kPa). Las muestras son probadas típicamente a 50° C y sumergidos completamente en un baño de agua. El baño, además de mantener la temperatura de prueba, determina la susceptibilidad de la mezcla a la presencia de humedad; muchos investigadores han determinado que esta es una prueba demasiado severa para evaluar el daño causado por ésta en las mezclas asfálticas.

La velocidad de la rueda es de 30 cm por segundo. La prueba se corre a 20,000 ciclos o a una deformación límite de 20 mm. El criterio general de falla en la especificación es definido a 4 mm de deformación máxima en autopistas y 2.5 mm en zonas industriales. Cuando existe un cambio de pendiente en el desarrollo de la prueba, el punto de inflexión indica el momento en el que la muestra presentará susceptibilidad al daño por humedad, a partir del cual comienza la zona de desgranamiento. (De la Cruz Bazan & Porras Zavala, 2015) .

La curva deformación-pasadas obtenida con la prueba de la rueda cargada de Hamburgo presenta tres puntos: Pendiente de rodera o pendiente de fluencia, punto de inflexión y pendiente de “desgranamiento”. La pendiente de rodera se presenta antes de que inicie la pendiente de desgranamiento. En esta zona es donde puede presentarse la deformación por rodera y el flujo plástico de la mezcla. La pendiente de desgranamiento es un indicador del grado de severidad del daño por humedad. El punto de inflexión está relacionado con la resistencia de la mezcla por efecto de humedad. (Torres Velazquez, Hernandez Villares , Romero Zepeda , & Torres Verdin , 2016)

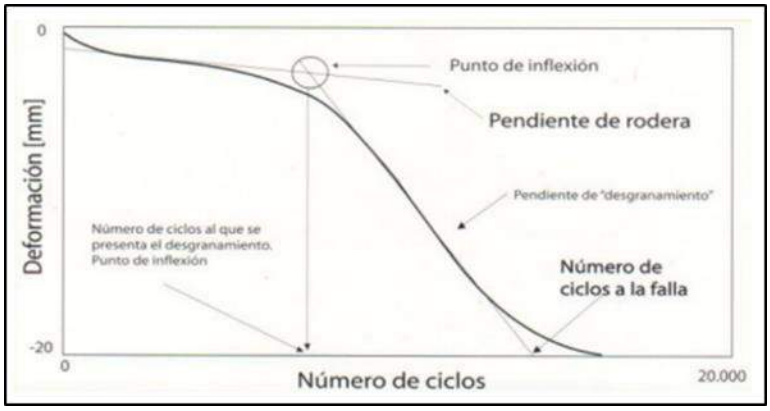


Figura 22. Gráfica esquemática deformación-pasadas (ciclos) por susceptibilidad a la humedad
Fuente: (Torres Velazquez, Hernandez Villares , Romero Zepeda , & Torres Verdin , 2016)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) tendrá un comportamiento mecánico más óptimo frente a la mezcla asfáltica convencional con agregados de la región del Cusco.

2.3.2 Sub hipótesis

H1. La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) presentará valores de parámetros volumétricos mas óptimos frente una mezcla asfáltica convencional con agregados de la región del Cusco.

H2. La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) incrementará los valores de estabilidad frente una mezcla asfáltica convencional con agregados de la región del Cusco.

H3. La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) disminuirá los valores de flujo frente una mezcla asfáltica convencional con agregados de la región del Cusco.

H4. La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) incrementará los valores de resistencia al daño inducido por humedad frente una mezcla asfáltica convencional para sus contenidos óptimos, con agregados de la región del Cusco.

H5. La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) incrementará los valores de resistencia a la deformación permanente frente una mezcla asfáltica convencional para sus contenidos óptimos, con agregados de la región del Cusco.

2.4 Definición de variables

2.4.1 Variables independientes

- Mezcla Asfáltica Convencional:

  Mezcla asfáltica convencional, la cual está formada por agregados gruesos (proveniente de la cantera de Morro Blanco) y finos (Arena natural proveniente de Cunyac y arena

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

triturada proveniente de Morro Blanco), y cemento asfáltico PEN 120-150 (Planta de asfalto de COPESCO).

- Mezcla Asfáltica adicionada:

Mezcla asfáltica con misma composición a la mezcla asfáltica convencional pero adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) en una composición de 25/75 respectivamente, en distintos porcentajes: 0.2%,0.5%,0.8%,1%,1.4%,1.7% y 2% respecto al peso total de la mezcla. Usando el contenido óptimo de cemento asfáltico.

2.4.2 Variables dependientes

- Parámetros volumétricos:

Los parámetros volumétricos se pueden considerar como una de los factores más importantes al realizar un análisis del comportamiento de una mezcla asfáltica en caliente, debido a que estos nos proporcionan un indicador de cómo será probablemente el funcionamiento de la mezcla asfáltica durante su vida útil. Estos parámetros volumétricos son: Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM), Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA), Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) y Peso específico de la muestra.

- Estabilidad Marshall:

Se puede definir a la estabilidad Marshall como la resistencia máxima en unidades de fuerza (generalmente N o Kg-f) que una muestra de mezcla asfáltica compactada desarrollará cuando es ensayada.

- Flujo Marshall:

Se puede definir al flujo marshall como el movimiento total o deformación vertical, en unidades de longitud (generalmente en 0.25mm o 0.01”), que sucede en la muestra en el punto máximo de carga presentado en el ensayo de estabilidad marshall.

- Resistencia al daño inducido por humedad:

La resistencia al daño inducido por humedad, es aquella propiedad de las mezclas asfálticas que resistir a la perdida de adherencia entre agregados y cemento asfáltico, por lo tanto es importante analizar este, ya que esta pérdida de adherencia condicionará la durabilidad de la

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

mezcla asfáltica. Este se determina mediante la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla el cual es el parámetro que evalúa el daño inducido por humedad, que se realiza para muestras en condición seca y saturada, este acondicionamiento se hace con la finalidad de simular las condiciones reales a las que estaría sometidas las mezclas asfálticas durante su vida útil.

- Resistencia a la deformación permanente:

  Se puede definir como la resistencia a la acumulación de pequeñas deformaciones producidas por cada aplicación de carga, es por ello que, estas deformaciones, si son excesivas, generan hundimientos o desplazamientos que se manifiestan en la superficie como ahuellamiento.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 23

Operacionalización de variables

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO..

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Descripción	Nivel	Indicador	Instrumentos
V. Independiente				
Mezcla Asfáltica convencional	Combinación de cemento asfáltico, agregados minerales pétreos (grueso y fino) y filler en proporciones exactas que se utiliza a una temperatura aprox. de 150°C	Mezcla asfáltica convencional producida en peso	Ligante asfáltico PEN 120/150 (KG)	Fichas de laboratorio y gabinete
			Agregados Grueso cantera morro blanco (KG)	Fichas de laboratorio y gabinete
			Agregado Fino cantera de Cunyac (KG)	Fichas de laboratorio y gabinete
Mezcla Asfáltica adicionada BPTR y GNR en 0.2%,0.5%,0.8%,1%,1.4%,1.7% y 2% respecto al peso total de la mezcla.	Combinación de cemento asfáltico, agregados minerales pétreos (grueso y fino) y filler en proporciones exactas que se utiliza a una temperatura aprox. de 150°C	Mezcla Asfáltica adicionada con BPTR y GNR producida en peso	Ligante asfaltico PEN 120/150 (KG)	Fichas de laboratorio y gabinete
			Agregados Grueso cantera de morro blanco (KG)	Fichas de laboratorio y gabinete
			Agregado Fino cantera de Cunyac (KG)	Fichas de laboratorio y gabinete
			BPTR (KG)	Fichas de laboratorio y gabinete
			GNR (KG)	Fichas de laboratorio y gabinete
V. Dependiente				
Parámetros volumetricos de mezcla asfáltica convencional	Indicadores que proporcionan el probable funcionamiento de la mezcla asfáltica.	Caracterización de los parametros volumetricos de una mezcla asfáltica convencional	VMA(%),VFA(%),VTM(%),Peso especifico(gr/cm3)	Hoja de cálculo
Parámetros volumetricos de mezcla asfáltica adicionada	Indicadores que proporcionan el probable funcionamiento de la mezcla asfáltica.	Caracterización de los parametros volumetricos de una mezcla asfáltica adicionada	VMA(%),VFA(%),VTM(%), Peso especifico(gr/cm3)	Hoja de cálculo
Estabilidad Marshall de mezcla asfáltica convencional	Ensayo que consiste en someter una muestra cilíndrica de mezcla asfáltica a carga vertical la rotura de la muestra.	Caracterización de mezcla asfáltica convencional	Fuerza(Kgf)	Fichas de laboratorio(ASTM D-1559)
Estabilidad Marshall de mezcla asfáltica adicionada	Ensayo que consiste en someter una muestra cilíndrica de mezcla asfáltica a carga vertical la rotura de la muestra.	Caracterización de mezcla asfáltica adicionada	Fuerza(Kgf)	Fichas de laboratorio(ASTM D-1559)
Flujo Marshall de mezcla asfáltica convencional	Ensayo que consiste en someter una muestra cilíndrica de mezcla asfáltica a carga vertical la rotura de la muestra.	Caracterización de mezcla asfáltica convencional	Deformación(mm)	Fichas de laboratorio(ASTM D-1559)
Flujo Marshall de mezcla asfáltica adicionada	Ensayo que consiste en someter una muestra cilíndrica de mezcla asfáltica a carga vertical la rotura de la muestra.	Caracterización de mezcla asfáltica adicionada	Deformación(mm)	Fichas de laboratorio(ASTM D-1559)
Resistencia al daño inducido por humedad de mezcla asfáltica convencional	Es el daño que ocurre debido a una pérdida de adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado, o a la difusión de humedad a través de la mezcla asfáltica.	Ensayo de Tracción Indirecta Lottman Modificado	Porcentaje TSR (%)	Fichas de laboratorio (AASHTO T-283)
Resistencia al daño inducido por humedad de mezcla asfáltica adicionada	Es el daño que ocurre debido a una pérdida de adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado, o a la difusión de humedad a través de la mezcla asfáltica.	Ensayo de Tracción Indirecta Lottman Modificado	Porcentaje TSR (%)	Fichas de laboratorio (AASHTO T-283)
Resistencia a la deformación permanente de mezcla asfáltica convencional	Es la resistencia que ofrece una mezcla asfáltica al ahuellamiento de la carpeta de rodadura.	Inicio-0mm en 0 pasadas o ciclos	Profundidad de ahuellamiento (mm)	Fichas de laboratorio (AASHTO T-324)
		máx. 12.5mm en 20000 pasadas		
Resistencia a la deformación permanente de mezcla asfáltica adicionada	Es la resistencia que ofrece una mezcla asfáltica al ahuellamiento de la carpeta de rodadura.	Inicio-0mm en 0 pasadas o ciclos	Profundidad de ahuellamiento (mm)	Fichas de laboratorio (AASHTO T-324)
		máx. 12.5mm en 20000 pasadas		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Capítulo III :Metodología

3.1 Metodología de la Investigación

3.1.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación se cataloga como una investigación Cuantitativa ya que se utiliza la recolección de datos para probar una hipótesis en base a la medición numérica, con el fin de probar teorías (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

En esta investigación los datos son producto de mediciones y se representan mediante números (cantidades) y estos deben ser analizados para poder tener resultados y comprobar las hipótesis planteadas.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

Se considera Descriptiva-Explicativa ya que, una investigación descriptiva busca especificar las propiedades, características y los perfiles de un fenómeno que sea sometido a análisis, están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos, de igual manera, una investigación explicativa, se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o por qué dos o más variables están relacionadas.

(Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

3.1.2 Método de investigación

En la presente investigación se usa el método Hipotético-Deductivo debido a que en la presente investigación nos planteamos hipótesis que posteriormente comprobamos si son verdaderas o falsas, así como también partimos de lo general y de esta forma lograr deducir ciertos hechos que se espera ocurran.

Según (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014)

El método hipotético deductivo es el procedimiento o camino que sigue el investigador para hacer de su actividad una práctica científica. El método hipotético-deductivo tiene varios pasos esenciales: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándoos con la experiencia

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.2 Diseño de investigación

3.2.1 Diseño metodológico

Se clasifica como una investigación Experimental, el termino experimento tiene dos acepciones general, y otra particular; lo general se refiere a realizar una acción después de observar las consecuencias, y la particular se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables para analizar las consecuencias de la manipulación sobre estas (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

Como mencionan (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014) “El primer requisito es la manipulación intencional de una o más variables independientes. La variable independiente es la que se considera como supuesta causa en una relación entre variables, es la condición antecedente, y al efecto provocado por dicha causa se le denomina variable dependiente (consecuente).”

Es por eso que debido a la manipulación de una de las variables independientes en la presente investigación como lo son la mezcla asfáltica convencional y adicionada, teniendo variaciones en las variables dependientes.

Asimismo la presente investigación se considera cuasi-experimental, ya que, (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014) define como “los diseños cuasi experimentales también manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto y relación con una o más variables dependientes, sólo que difieren de los experimentos “puros” en el grado de seguridad o confiabilidad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos. En los diseños cuasi experimentales los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están formados antes del experimento: son grupos intactos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.2.2 Diseño de ingeniería

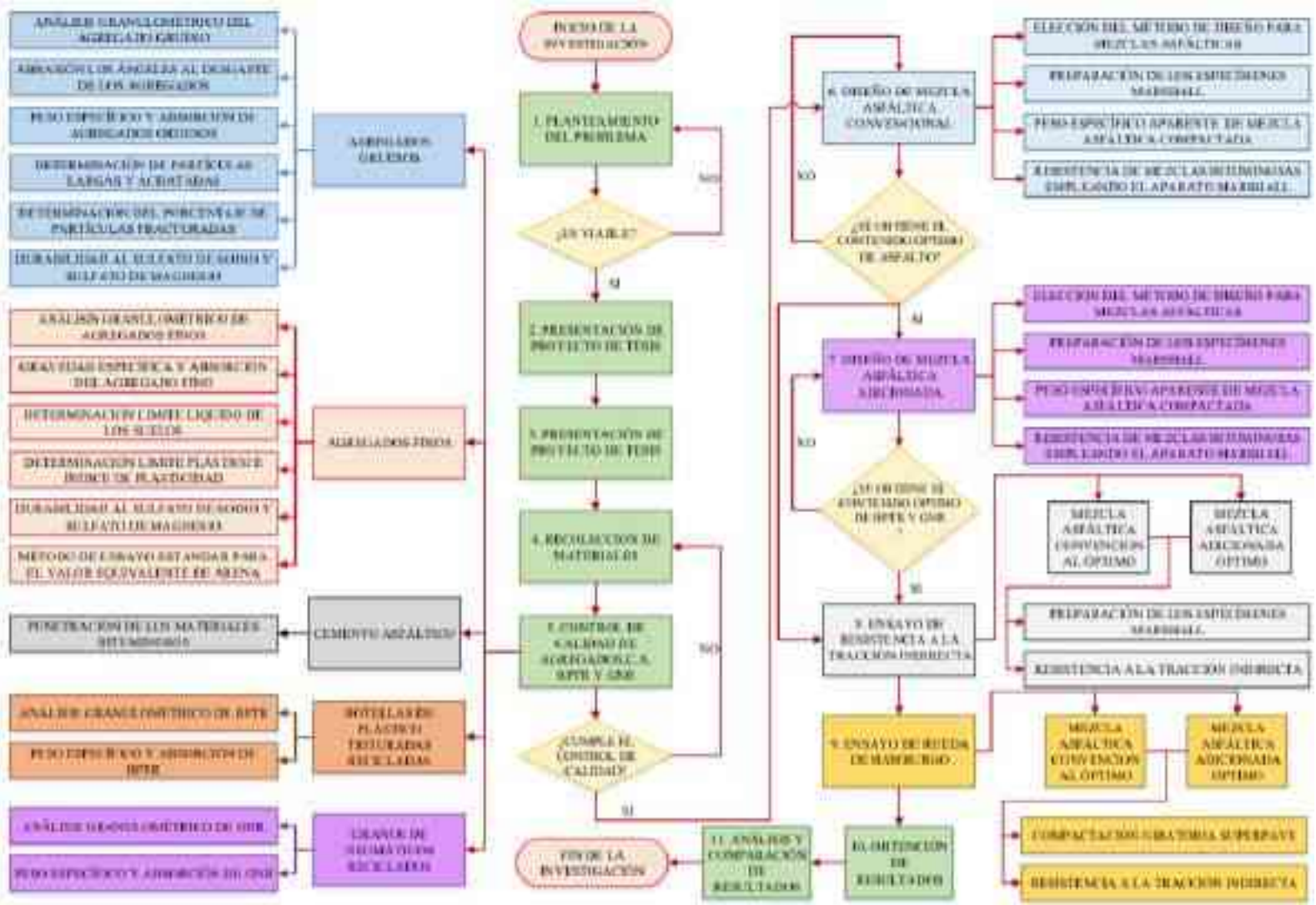


Figura 23. Diseño de ingeniería

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Para realizar la presente tesis es necesario obtener muestras de prueba para cada tipo de mezcla asfáltica, tanto convencional como adicionada. Con el fin de realizar ensayos necesarios para obtener el comportamiento mecánico y la resistencia a deformación permanente.

Se considera una población infinita ya que, al referirnos a una investigación de materiales se puede realizar un numero de muestras infinitas con la utilización de estos materiales.

3.3.1.1 Descripción de la población

Para realizar el diseño de cada una de las mezclas asfálticas se considerarán muestras con dimensiones de 10 cm (4”) de diámetro y 6 cm aproximadamente de altura.
Para determinar el daño inducido por humedad tendremos muestras con dimensiones de 10 cm (4”) de diámetro y 6 cm aproximadamente de altura.
Para determinar de la deformación permanente se contaran con cuerpos de prueba de 15 cm (6”) de diámetro y 5 cm (1.5” – 2.5” aprox. (AASHTO T 324, p.4)) de altura

3.3.1.2 Cuantificación de la población

Tabla 24

Cuantificación de la población para mezclas asfálticas convencionales

TIPO DE MEZCLA	POBLACIÓN
MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	Infinito

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 25

Cuantificación de la población para mezclas asfálticas adicionadas

TIPO DE MEZCLA	POBLACIÓN
MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA	Infinito

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra

La muestra esta conformada de acuerdo a la formula para determinar el tamaño de muestra.

Para realizar el diseño de cada una de las mezclas asfálticas se considerará usar un total de 84 muestras con dimensiones de 10 cm (4”) de diámetro y 6 cm aproximadamente de altura.

Para determinar el daño inducido por humedad tendremos un total de 12 muestras con dimensiones de 10 cm (4”) de diámetro y 6 cm aproximadamente de altura.

Para determinar de la deformación permanente se contará con 4 cuerpos de prueba de 15 cm (6”) de diámetro y 5 cm (1.5” – 2.5” aprox. (AASHTO T 324, p.4)) de altura.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

Para la obtención del tamaño de la muestra para una población infinita se hace uso de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^{2} * p * q}{e^{2}}$$

Considerando:

Z (95%) =1.96

p=0.5

q=0.5

e=0.11

Se tiene:

$$n = (1.96^2 * 0.5 * 0.5)/(0.11^2)$$

$$n = 84$$

Por lo cual podemos determinar que el número de muestras a emplearse es de 84 muestras contando con un grado de confiabilidad al 95%, teniendo así un margen de error del 11% y una probabilidad de ocurrencia del 50%, estando en un rango aceptable para la presente investigación.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 26

Cuantificación de la muestra para mezclas asfálticas convencionales

TIPO DE MEZCLA	ENSAYOS	NORMA	Nro. DE MUESTRAS	
MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	Diseño de mezcla asfálticas y preparación de especímenes Marshall	MTC E 504	5 muestras por porcentaje de asfalto (4.00%,4.50%,5.00%, 5.50%,6.00%,6.50%, 7.00%)	35
	Resistencia al daño inducido por humedad	AASHTO T 283	3 muestras en seco y 3 en humedad por porcentaje óptimo	6
	Resistencia a la deformación permanente	AASHTO T 324	2 muestras por porcentaje óptimo	2
	TOTAL DE MUESTRAS MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL			**43**

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 27

Cuantificación de la muestra para mezclas asfálticas adicionadas

TIPO DE MEZCLA	ENSAYOS	NORMA	Nro. DE MUESTRAS	
MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA	Diseño de mezcla asfálticas y preparación de especímenes Marshall	MTC E 504	7 muestras por porcentaje de adición (0.20%,0.50%,0.80%, 1.00%,1.40%,1.70%, 2.00%)	49
	Resistencia al daño inducido por humedad	AASHTO T 283	3 muestras en seco y 3 en humedad por porcentaje óptimo	6
	Resistencia a la deformación permanente	AASHTO T 324	2 muestras por porcentaje óptimo	2
	TOTAL DE MUESTRAS MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA			**57**

Nota. Fuente: Propia.

3.3.2.3 Método de muestreo

El método de muestreo utilizado en la presente investigación es un método probabilístico, ya que para la presente investigación se hace uso de la teoría estadística para así seleccionar una muestra representativa de la población y luego predecir que todas las respuestas juntas coincidirán con la población en general.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.3.2.4 Criterios de la evaluación de muestra

Las muestras deben de contar con los siguientes criterios:

- Los Agregados deberán cumplir con todos los estándares de calidad que se establecen en la norma con el fin de tener una mejor calidad de nuestro espécimen.
- El cemento asfáltico deberá cumplir con todos los estándares de calidad que se establecen en la norma con el fin de tener una mejor calidad de nuestro espécimen.
- Las muestras deberán realizarse de manera que cumplan con todos los estándares de calidad que se establecen en la norma con el fin de tener mayo r certeza en los resultados.
- Para el diseño de mezcla todos los cuerpos deben ser homogéneos, con el peso indicado de 1200 gramos aproximadamente. Asimismo, debemos cumplir con las dimensiones especificadas anteriormente.
- Para el diseño de la mezcla asfáltica adicionada se usará el contenido óptimo de cemento asfáltico hallado en la realización de la mezcla asfáltica convencional.
- Para el ensayo de resistencia al daño inducido por humedad y resistencia a la deformación permanente se usará el contenido óptimo de cemento asfáltico hallado en la realización de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica adicionada.

3.3.3 Criterios de inclusión

En la presente tesis se incluirán agregados que previamente hayan cumplido previamente con las especificaciones generales de carreteras (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Asimismo, las muestras deben cumplir con las especificaciones generales de carreteras (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 28

Criterios de inclusión de los materiales

MATERIALES	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA	CANTERA DE PROCEDENCIA
AGREGADOS FINOS	Arena Triturada	Arena Triturada	Morro blanco,San Salvador,Pisac
	Arena Natural	Arena Natural	Cunyac
AGREGADO GRUESO	Piedra chancada	Piedra chancada	Morro blanco,San Salvador,Pisac
CEMENTO ASFÁLTICO	PEN 120/150	PEN 120/150	COPESCO
GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR)	No presenta	Adición al 75% del total de la mezcla en porcentajes al 0.20%,0.50%,0.80%,1.00 %,1.40%,1.70%,2.00%	-
BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR)	No presenta	Adición al 25% del total de la mezcla en porcentajes al 0.20%,0.50%,0.80%,1.00 %,1.40%,1.70%,2.00%	-

Nota. Fuente: Propia.

3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos de recolección de datos

Se presentan formatos de laboratorio necesarios para la recolección de datos de la presente investigación:

Tabla 29

Instrumentos de recolección de datos para ensayos al agregado grueso

GUÍAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	FORMATO	ENSAYO	NORMATIVA
AGREGADO GRUESO	F. DE LABORATORIO 1	Análisis granulométrico del agregado grueso	MTC E 204
	F. DE LABORATORIO 2	Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados	MTC E 207
	F. DE LABORATORIO 3	Peso específico y absorción de agregados gruesos	MTC E 206
	F. DE LABORATORIO 4	Determinación de partículas largas y achatadas	ASTM 4791
	F. DE LABORATORIO 5	Determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso	MTC E 210
	F. DE LABORATORIO 6	Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio del agregado grueso	MTC E 209

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 30

Instrumentos de recolección de datos para ensayos al agregado fino

GUÍAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	FORMATO	ENSAYO	NORMATIVA
AGREGADO FINO	F. DE LABORATORIO 1	Análisis granulométrico del agregado fino	MTC E 204
	F. DE LABORATORIO 7	Gravedad específica y absorción del agregado fino	MTC E 205
	F. DE LABORATORIO 8	Determinación limite líquido de los suelos	MTC E 110
	F. DE LABORATORIO 8	Determinación limite plástico e índice de plasticidad	MTC E 111
	F. DE LABORATORIO 6	Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio de los agregados finos	MTC E 209
	F. DE LABORATORIO 9	Método de ensayo estandar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino	MTC E 114
	F. DE LABORATORIO 10	Ensayo de calibración de fiola	MTC E 113

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 31

Instrumentos de recolección de datos para ensayos a combinación de agregados

GUÍAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	FORMATO	ENSAYO	NORMATIVA
COMBINACIÓN DE AGREGADOS	F. DE LABORATORIO 1	Análisis granulométrico de la combinación de agregados	MTC E 204

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 32

Instrumentos de recolección de datos para ensayos al cemento asfáltico

GUÍAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	FORMATO	ENSAYO	NORMATIVA
CEMENTO ASFÁLTICO	F. DE LABORATORIO 12	Penetración de los materiales bituminosos	MTC E 304

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 33

Instrumentos de recolección de datos para ensayos a los adicionantes

GUÍAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	FORMATO	ENSAYO	NORMATIVA
GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR)	F. DE LABORATORIO 1	Granulometría del GNR	MTC E 204
	F. DE LABORATORIO 3	Peso especifico y absorción del GNR	MTC E 206
BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR)	F. DE LABORATORIO 1	Granulometría de BPTR	MTC E 204
	F. DE LABORATORIO 3	Peso específico y absorción de BPTR	MTC E 206

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 34

Formato de laboratorio para ensayo de Análisis granulométrico del agregado grueso MAC

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS - MAC 2
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado grueso
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	MAC-2	
1"	25.40														
3/4"	19.05													100%	
1/2"	12.70													80%	100%
3/8"	9.53													70%	88%
Nº 4	4.76													51%	68%
Nº 8	2.36														
Nº 10	2.00													38%	52%
Nº 16	1.18														
Nº 30	0.60														
Nº 40	0.42													17%	28%
Nº 50	0.30														
Nº 80	0.18													8%	17%
Nº 100	0.15														
Nº 200	0.07													4%	8%
Fondo	-														
TOTAL	-														

PESO INICIAL 1 =	gr
MAT. PERDIDO 1=	gr
ERROR (%) 1 =	%
CORRECCIÓN 1=	gr

PESO INICIAL 2=	gr
MAT. PERDIDO 2=	gr
ERROR (%) 2 =	%
CORRECCIÓN 2=	gr

PESO INICIAL 3=	gr
MAT. PERDIDO 3=	gr
ERROR (%) 3=	%
CORRECCIÓN 3 =	gr

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 35

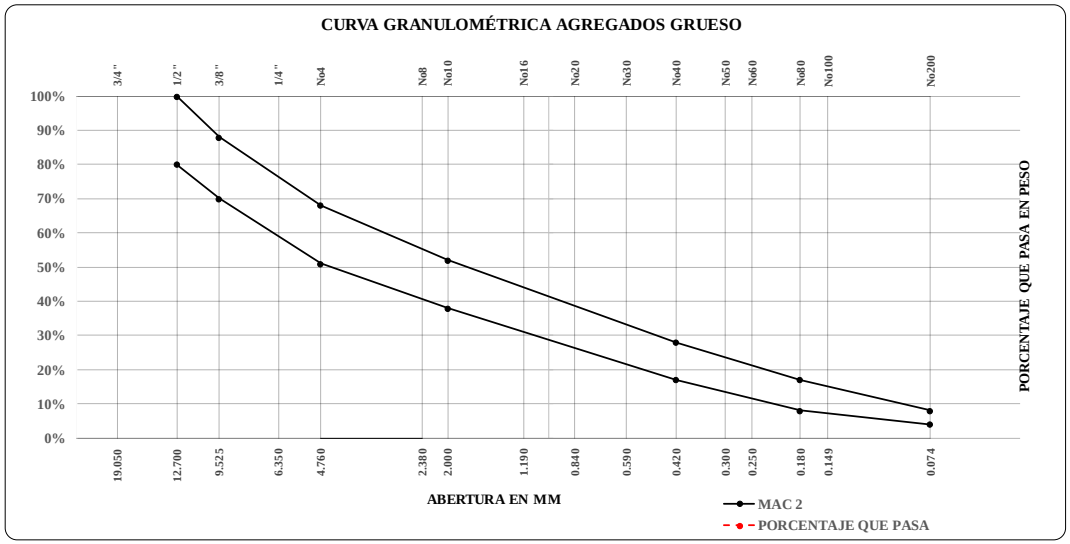
Formato de laboratorio para ensayo de Análisis granulométrico del agregado grueso MAC-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS - CURVA GRANULOMÉTRICA MAC 2
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado grueso
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 36

Formato de laboratorio para ensayo de Análisis granulométrico del agregado grueso SUPERPAVE

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS - SUPERPAVE
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado grueso
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES			
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCION	
1"	25.40																
3/4"	19.05														100%		
1/2"	12.70													90%	100%		
3/8"	9.53																
Nº 4	4.76																
Nº 8	2.36													58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00																
Nº 16	1.18															25.6%	31.6%
Nº 30	0.60															19.1%	23.1%
Nº 40	0.42																
Nº 50	0.30															15.5%	15.5%
Nº 80	0.18																
Nº 100	0.15																
Nº 200	0.07													10%	2%		
Fondo	-																
TOTAL	-																

PESO INICIAL 1 =	gr
MAT. PERDIDO 1=	gr
ERROR (%) 1 =	%
CORRECCIÓN 1=	gr

PESO INICIAL 2=	gr
MAT. PERDIDO 2=	gr
ERROR (%) 2 =	%
CORRECCIÓN 2=	gr

PESO INICIAL 3=	gr
MAT. PERDIDO 3=	gr
ERROR (%) 3=	%
CORRECCIÓN 3 =	gr

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 37

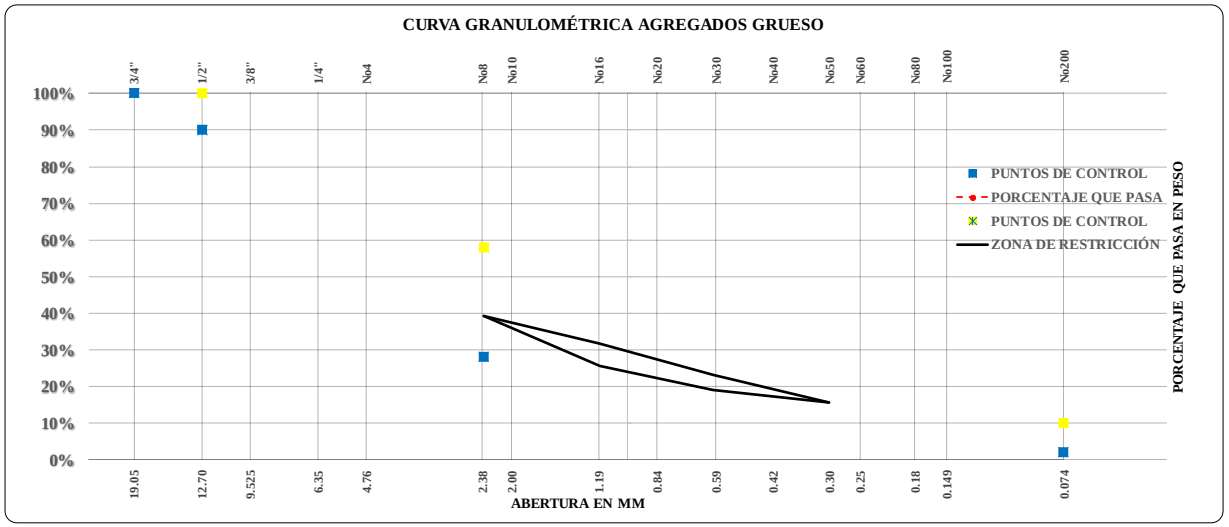
Formato de laboratorio para ensayo de Análisis granulométrico del agregado grueso SUPERPAVE-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS- CURVA GRANULOMÉTRICA - SUPERPAVE
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado grueso
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 38

Formato de laboratorio para el ensayo de abrasión Los Ángeles al desgaste de los agregados

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ANGELES
NORMATIVA:	MTC E 207
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	14/10/2019
MATERIAL:	Agregado grueso
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ANGELES

PASA TAMIZ		RETIENE TAMIZ		GRADACIONES			
mm		mm		A	B	C	D
37.5	1 1/2"	25	1"				
25	1"	19	3/4"				
19	3/4"	12.5	1/2"		2500 gr		
12.5	1/2"	9.5	3/8"		2500 gr		
9.5	3/8"	6.3	1/4"				
6.3	1/4"	4.75	Nº 4				
4.75	Nº 4	2.36	Nº 8				
PESO TOTAL					5000 gr		
Nº de esferas					11		
Nº de revoluciones					500		
Tiempo de rotacion					15		
Peso inicial=Peso total de la muestra							
Peso final=Peso material degstado							

RESULTADOS

%ABRASIÓN	**%**

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

X Tabla 39

Formato de laboratorio para el ensayo de Peso específico y absorción del agregado grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS
NORMATIVA:	MTC E 206
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado grueso
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

PESO ESPECIFÍCO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

PESOS	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra seca		gr				
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca		gr				
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada		gr				
	Peso específico de masa bulk (Gsb)	A/(B-C)	gr/cm3				
	Peso específico de masa saturada con superficie seca (Gsss)	B/(B-C)	gr/cm3				
	Peso específico aparente (Gsa)	A/(A-C)	gr/cm3				
	Absorción	(B-A)/A*100	%				

RESULTADOS DEL ENSAYO

% ABSORCION	

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 40

Formato de laboratorio para el ensayo de Determinación de partículas largas y achatadas

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS
NORMATIVA:	MTC E 221
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Grueso
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

ÍNDICE DE APLANAMIENTO

TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% IAP
PASA	RETIENE	Gr.			Gr.	Gr.	
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"						
3/8"	1/4"						
TOTALES							
						IAP=	

ÍNDICE DE ALARGAMIENTO

TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% IAP
PASA	RETIENE	Gr.			Gr.	Gr.	
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"						
3/8"	1/4"						
TOTALES							
						IAP=	

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 41

Formato de laboratorio para el ensayo de Determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS
NORMATIVA:	MTC E 210
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado grueso
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

PARA UNA CARA FRACTURADA

TAMAÑO DEL AGREGADO		Peso(gr)	Fracturadas (gr)	Fracturadas (%)	Retenido (%)	Promedio de fracturadas
Pasa tamiz	Retiene tamiz					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
TOTAL						

PORCENTAJE DE UNA CARA FRACTURADA	**%**

PARA DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS

TAMAÑO DEL AGREGADO		Peso(gr)	Fracturadas (gr)	Fracturadas (%)	Retenido (%)	Promedio de fracturadas
Pasa tamiz	Retiene tamiz					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
TOTAL						

PORCENTAJE DE DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS	**%**

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 42

Formato de laboratorio para el ensayo de Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio del agregado grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO GRUESO
NORMATIVA:	MTC E 209
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Grueso
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO GRUESO

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDAS DE PESO		ESCALONADO ORIGINAL	PÉRDIDAS CORREGIDAS
ASTM	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	%		
3/4"-1/2"							
1/2" - 3/8"							
3/8" - N° 4							
					PÉRDIDAS TOTALES		

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 43

Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino MAC-Arena natural de Cunyac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINO - MAC 2
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Cunyac
MUESTRA:	Arena Natural de Cunyac

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	MAC-2	
1"	25.40														
3/4"	19.05													100%	
1/2"	12.70													80%	100%
3/8"	9.53													70%	88%
Nº 4	4.76													51%	68%
Nº 8	2.36														
Nº 10	2.00													38%	52%
Nº 16	1.18														
Nº 30	0.60														
Nº 40	0.42													17%	28%
Nº 50	0.30														
Nº 80	0.18													8%	17%
Nº 100	0.15														
Nº 200	0.07													4%	8%
Fondo	-														
TOTAL	-														

PESO INICIAL 1 =	gr
MAT. PERDIDO 1=	gr
ERROR (%) 1 =	%
CORRECCIÓN 1=	gr

PESO INICIAL 2=	gr
MAT. PERDIDO 2=	gr
ERROR (%) 2 =	%
CORRECCIÓN 2=	gr

PESO INICIAL 3=	gr
MAT. PERDIDO 3=	gr
ERROR (%) 3=	%
CORRECCIÓN 3 =	gr

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 44

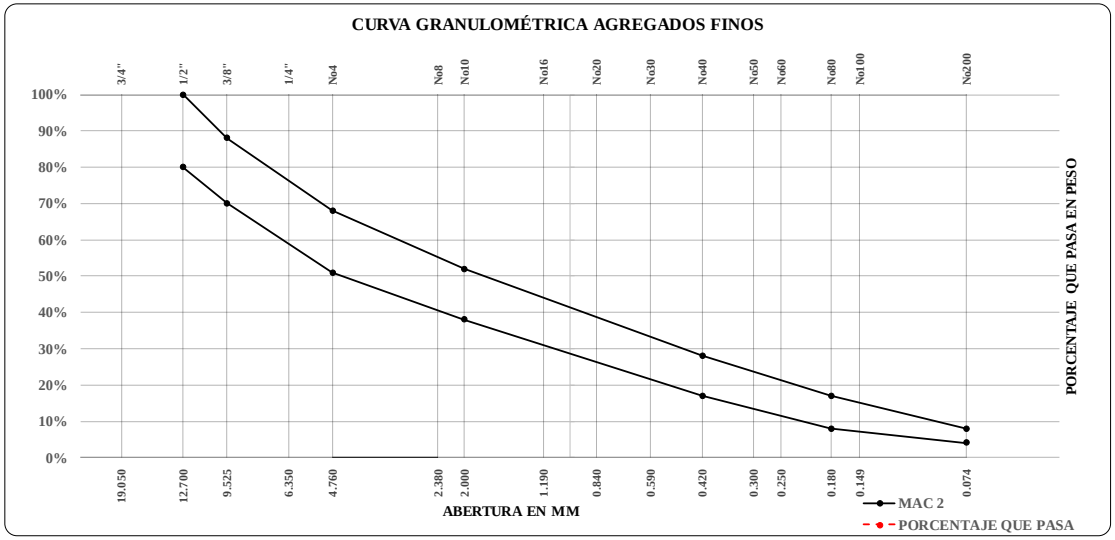
Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino MAC-Arena natural de Cunyac-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS - CURVA GRANULOMÉTRICA MAC 2
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Cunyac
MUESTRA:	Arena Natural de Cunyac



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 45

Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino MAC-Arena triturada de Morro Blanco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINO - MAC 2
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Arena Triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	MAC-2	
1"	25.40														
3/4"	19.05													100%	
1/2"	12.70													80%	100%
3/8"	9.53													70%	88%
Nº 4	4.76													51%	68%
Nº 8	2.36														
Nº 10	2.00													38%	52%
Nº 16	1.18														
Nº 30	0.60														
Nº 40	0.42													17%	28%
Nº 50	0.30														
Nº 80	0.18													8%	17%
Nº 100	0.15														
Nº 200	0.07													4%	8%
Fondo	-														
TOTAL	-														

PESO INICIAL 1 =	gr
MAT. PERDIDO 1=	gr
ERROR (%) 1 =	%
CORRECCIÓN 1=	gr

PESO INICIAL 2=	gr
MAT. PERDIDO 2=	gr
ERROR (%) 2 =	%
CORRECCIÓN 2=	gr

PESO INICIAL 3=	gr
MAT. PERDIDO 3=	gr
ERROR (%) 3=	%
CORRECCIÓN 3 =	gr

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 46

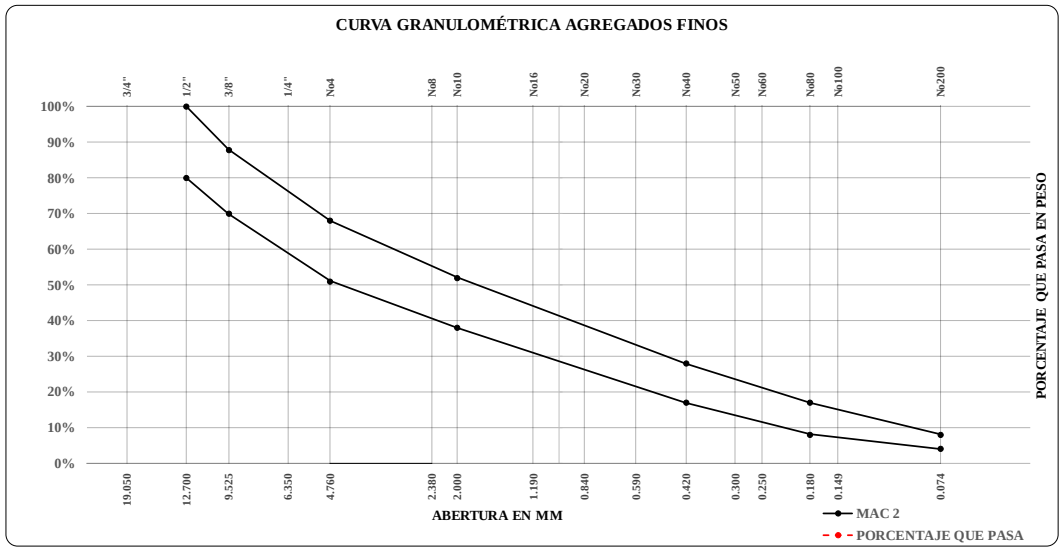
Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino MAC-Arena triturada de Morro Blanco-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS - CURVA GRANULOMÉTRICA MAC 2
NORMATIVA:	MTC E 504
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Arena Triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 47

Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino SUPERPAVE-Arena natural de Cunyac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS - SUPERPAVE
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Cunyac
MUESTRA:	Arena Natural de Cunyac

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES			
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCION	
1"	25.40																
3/4"	19.05														100%		
1/2"	12.70													90%	100%		
3/8"	9.53																
Nº 4	4.76																
Nº 8	2.36													58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00																
Nº 16	1.18															25.6%	31.6%
Nº 30	0.60															19.1%	23.1%
Nº 40	0.42																
Nº 50	0.30															15.5%	15.5%
Nº 80	0.18																
Nº 100	0.15																
Nº 200	0.07													10%	2%		
Fondo	-																
TOTAL	-																

PESO INICIAL 1 =	gr
MAT. PERDIDO 1=	gr
ERROR (%) 1 =	%
CORRECCIÓN 1=	gr

PESO INICIAL 2=	gr
MAT. PERDIDO 2=	gr
ERROR (%) 2 =	%
CORRECCIÓN 2=	gr

PESO INICIAL 3=	gr
MAT. PERDIDO 3=	gr
ERROR (%) 3=	%
CORRECCIÓN 3 =	gr

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 48

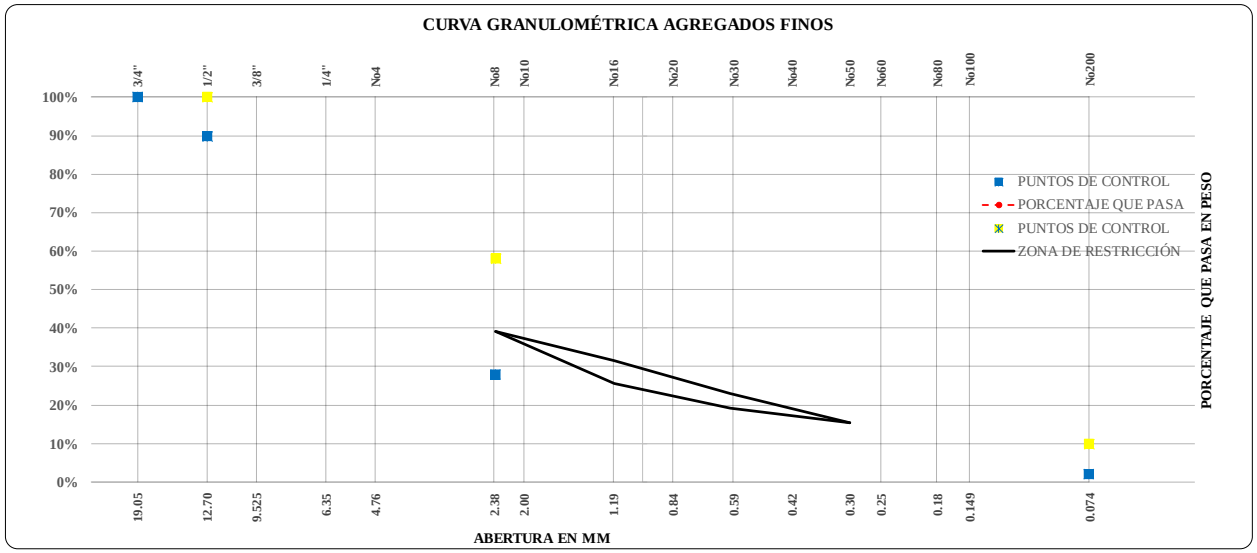
Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino SUPERPAVE-Arena natural de Cunyac-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS- CURVA GRANULOMÉTRICA SUPERPAVE
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Cunyac
MUESTRA:	Arena Natural de Cunyac



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 49

Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino SUPERPAVE-Arena triturada de Morro Blanco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS - SUPERPAVE
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	ARENA TRITURADA
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Arena Triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES			
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCION	
1"	25.40																
3/4"	19.05														100%		
1/2"	12.70													90%	100%		
3/8"	9.53																
N° 4	4.76																
N° 8	2.36													58%	28%	39.1%	39.1%
N° 10	2.00																
N° 16	1.18															25.6%	31.6%
N° 30	0.60															19.1%	23.1%
N° 40	0.42																
N° 50	0.30															15.5%	15.5%
N° 80	0.18																
N° 100	0.15																
N° 200	0.07													10%	2%		
Fondo	-																
TOTAL	-																

PESO INICIAL 1 =	gr
MAT. PERDIDO 1=	gr
ERROR (%) 1 =	%
CORRECCIÓN 1=	gr

PESO INICIAL 2=	gr
MAT. PERDIDO 2=	gr
ERROR (%) 2 =	%
CORRECCIÓN 2=	gr

PESO INICIAL 3=	gr
MAT. PERDIDO 3=	gr
ERROR (%) 3=	%
CORRECCIÓN 3 =	gr

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 50

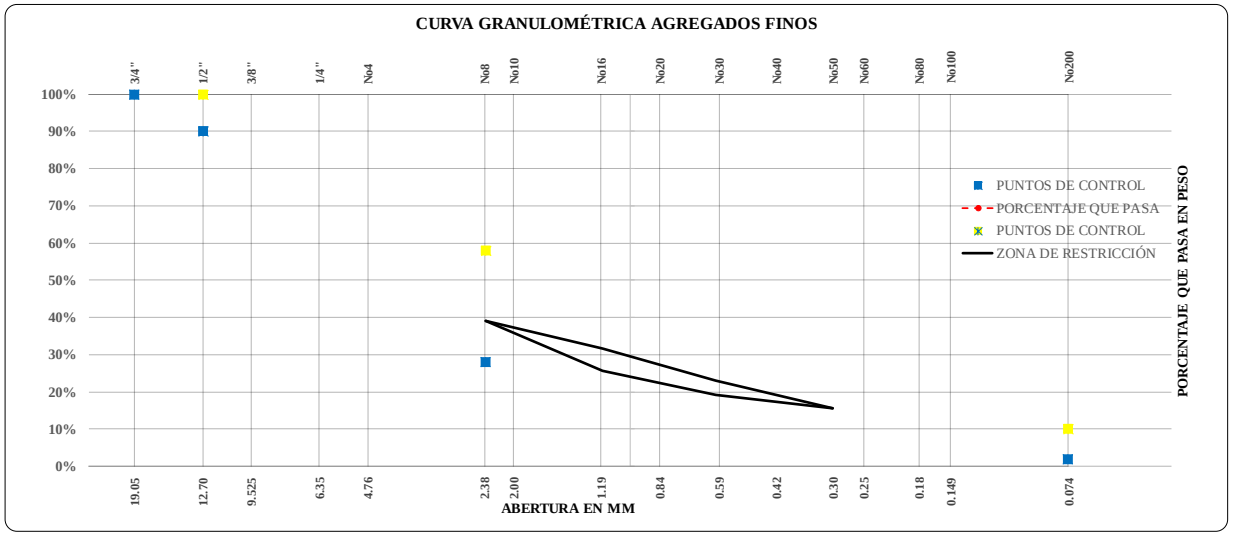
Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino SUPERPAVE-Arena triturada de Morro Blanco-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS- CURVA GRANULOMÉTRICA SUPERPAVE
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	ARENA TRITURADA
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Arena Triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 51

Formato de laboratorio para el ensayo de Gravedad específica y absorción del agregado fino-Arena natural de Cunyac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS
NORMATIVA:	MTC E 205
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Cunyac
MUESTRA:	Arena Fina Cunyac

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

PESOS	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra seca		gr				
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca		gr				
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada		gr				
D	Peso de la muestra saturada superficialmente seca		gr				
	Gravedad Especifica Bulk (Gsb)=	A/(B+D-C)	gr/cm3				
	Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seco Bulk (Gsssb)=	D/(B+D-C)	gr/cm3				
	Gravedad Especifica Aparente (Gsa) =	A/(B+A-C)	gr/cm3				
	Absorción (Abs)=	(D-A)/A*100	%				
	Coeficiente de Temperatura K=		-				
	Gravedad Especifica Bulk, Corregido por Temperatura=	Gsb * K	gr/cm3				
	Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seco Bulk, Corregido por Temperatura	Gsssb * K	gr/cm3				
	Gravedad Especifica Aparente, Corregido por Temperatura=	Gsa * K	gr/cm3				

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 52

Formato de laboratorio para el ensayo de Gravedad específica y absorción del agregado fino-Arena triturada de Morro Blanco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS
NORMATIVA:	MTC E 205
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Arena Triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

PESOS	DESCRIPCION		UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra seca		gr				
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca		gr				
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada		gr				
D	Peso de la muestra saturada superficialmente seca		gr				
	Gravedad Especifica Bulk (Gsb)=	A/(B+D-C)	gr/cm3				
	Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seco Bulk (Gsssb)=	D/(B+D-C)	gr/cm3				
	Gravedad Especifica Aparente (Gsa) =	A/(B+A-C)	gr/cm3				
	Absorción (Abs)=	(D-A)/A*100	%				
	Coeficiente de Temperatura K=		-				
	Gravedad Especifica Bulk, Corregido por Temperatura=	Gsb * K	gr/cm3				
	Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seco Bulk, Corregido por Temperatura	Gsssb * K	gr/cm3				
	Gravedad Especifica Aparente, Corregido por Temperatura=	Gsa * K	gr/cm3				

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 53

Formato de laboratorio para el ensayo de Calibración de fiola-Arena natural de Cunyac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

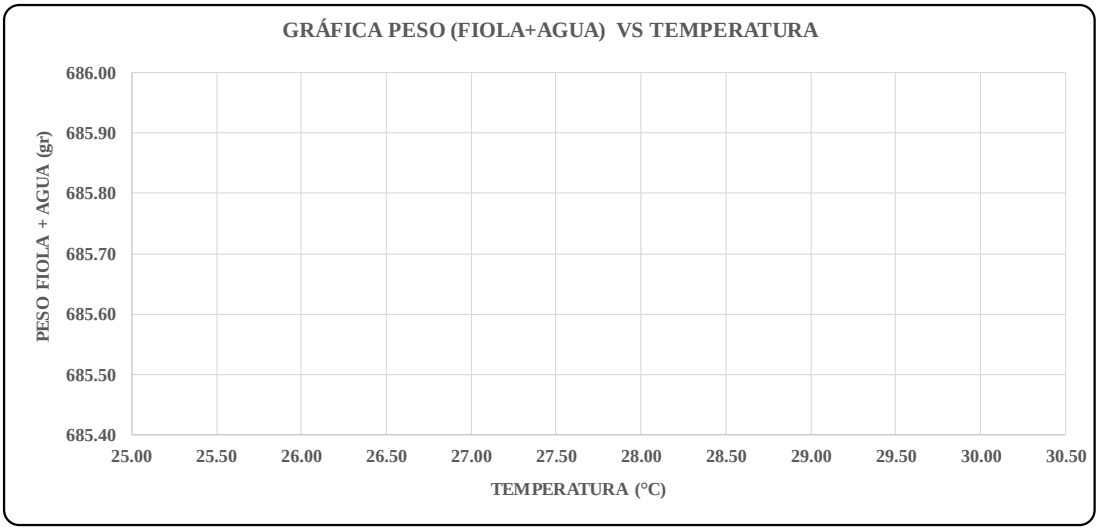
TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	MÉTODO DE ENSAYO ESTENDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DE SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO DE AGUA
NORMATIVA:	MTC E 113
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Fiola utilizada para Agregado fino
CANTERA:	Cunyac
MUESTRA:	Arena Fina Cunyac

ENSAYO DE CALIBRACIÓN DE FIOLA

Nro. DE MUESTRA	PESO Gr	TEMPERAT. °C	VALOR DE TEMPERATURA OBTENIDO DE GRÁFICA	DENSIDAD (G/mL)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA K
MUESTRA 1					
MUESTRA 2					
MUESTRA 3					
MUESTRA 4					
PROMEDIO					



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 54

Formato de laboratorio para el ensayo de Calibración de fiola-Arena triturada de Morro Blanco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

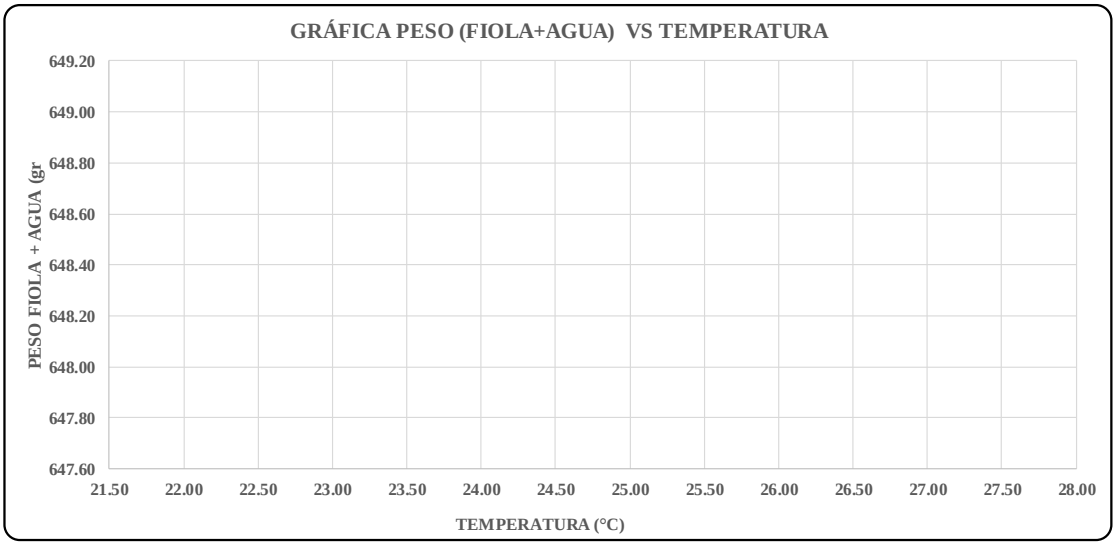
TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	MÉTODO DE ENSAYO ESTENDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DE SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO DE AGUA
NORMATIVA:	MTC E 113
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Fiola utilizada para Agregado fino
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Arena Triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

ENSAYO DE CALIBRACIÓN DE FIOLA

Nro. DE MUESTRA	PESO Gr	TEMPERAT. °C	VALOR DE TEMPERATURA OBTENIDO DE GRÁFICA	DENSIDAD (G/mL)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA K
MUESTRA 1					
MUESTRA 2					
MUESTRA 3					
MUESTRA 4					
PROMEDIO					



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 55

Formato de laboratorio para el ensayo de Determinación del índice de plasticidad de agregados finos-Arena natural de Cunyac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
NORMATIVA:	MTC E 110 - MTC E 111
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	21/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Cunyac
MUESTRA:	Arena Natural de Cunyac

ÍNDICE DE PLASTICIDAD

LÍMITE LIQUIDO

DESCRIPCION	**ENSAYO 1**	**ENSAYO 2**
N de golpes		
Codigo de recipiente		
Peso del recipiente		
Recipiente + Suelo humedo		
Recipiente +Suelo seco		
Peso del agua		
Peso suelo humedo		
Peso superficialmnete seco		
% de humedad		
PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD		

LÍMITE PLÁSTICO

DESCRIPCION	**ENSAYO 1**	**ENSAYO 2**
Codigo de recipiente		
Peso del recipiente		
Recipiente + Suelo humedo		
Recipiente +Suelo seco		
Peso del agua		
Peso suelo humedo		
Peso superficialmnete seco		
% de humedad		
PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD		

RESULTADOS DEL ENSAYO

INDICE DE PLASTICIDAD	

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 56

Formato de laboratorio para el ensayo de Determinación del índice de plasticidad de agregados finos-Arena triturada de Morro Blanco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
NORMATIVA:	MTC E 110 - MTC E 111
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	21/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Arena Triturada Piedra de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

ÍNDICE DE PLASTICIDAD

LÍMITE LIQUIDO

DESCRIPCION	**ENSAYO 1**	**ENSAYO 2**
Codigo de recipiente		
Peso del recipiente		
Recipiente + Suelo humedo		
Recipiente +Suelo seco		
Peso del agua		
Peso suelo humedo		
Peso superficialmnete seco		
% de humedad		
PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD		

LÍMITE PLÁSTICO

DESCRIPCION	**ENSAYO 1**	**ENSAYO 2**
N de golpes		
Codigo de recipiente		
Peso del recipiente		
Recipiente + Suelo humedo		
Recipiente +Suelo seco		
Peso del agua		
Peso suelo humedo		
Peso superficialmnete seco		
% de humedad		
PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD		

RESULTADOS DEL ENSAYO

INDICE DE PLASTICIDAD	

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 57

Formato de laboratorio para el ensayo de Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio de los agregados finos-Arena natural de Cunyac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO
NORMATIVA:	MTC E 209
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Cunyac
MUESTRA:	Arena Natural de Cunyac

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDAS DE PESO		ESCALONADO ORIGINAL	PÉRDIDAS CORREGIDAS
ASTM	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	%		
3/8"-Nº 4							
Nº 4 - N° 8							
Nº 8 - N° 16							
Nº 16 - N° 30							
Nº 30 - N° 50							
					PÉRDIDAS TOTALES		

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 58

Formato de laboratorio para el ensayo de Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio de los agregados finos-Arena triturada de Morro Blanco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO
NORMATIVA:	MTC E 209
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Arena Triturada Piedra de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDAS DE PESO		ESCALONADO ORIGINAL	PÉRDIDAS CORREGIDAS
ASTM	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	%		
3/8"-Nº 4							
Nº 4 - N° 8							
Nº 8 - N° 16							
Nº 16 - N° 30							
Nº 30 - N° 50							
					PÉRDIDAS TOTALES		

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 59

Formato de laboratorio para el ensayo de Equivalente de arena-Arena natural de Cunyac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	EQUIVALENTE DE ARENA
NORMATIVA:	MTC E 114
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	24/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Cunyac
MUESTRA:	Arena Natural de Cunyac

EQUIVALENTE DE ARENA

MUESTRA	Muestra 1 (Pulg.)	Muestra 2 (Pulg.)	Muestra 3 (Pulg.)
Altura de arcilla			
Altura de disco			

RESULTADOS DEL ENSAYO

Muestra 1	
Muestra 2	
Muestra 3	
Valor Equivalente de Arena	

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 60

Formato de laboratorio para el ensayo de Equivalente de arena-Arena triturada de Morro Blanco

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

" AS "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	EQUIVALENTE DE ARENA
NORMATIVA:	MTC E 114
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	24/10/2019
MATERIAL:	Agregado Fino
CANTERA:	Morro Blanco-San Salvador-Pisac
MUESTRA:	Arena Triturada Piedra de Morro Blanco-San Salvador-Pisac

EQUIVALENTE DE ARENA

MUESTRA	Muestra 1 (Pulg.)	Muestra 2 (Pulg.)	Muestra 3 (Pulg.)
Altura de arcilla			
Altura de disco			

RESULTADOS DEL ENSAYO

Muestra 1	
Muestra 2	
Muestra 3	
Valor Equivalente de Arena	

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 61

Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico de combinación de agregados

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

A **"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."**

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS MÉTODO GRAFICO
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Combinación de Agregados Gruesos y Finos
CANTERA:	Morro Blanco - Cunyac
MUESTRA:	Piedra chancada y aArena Triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac - Arena Natural de Cunyac

GRANULOMETRÍA DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS- MÉTODO GRÁFICO

MALLA		PORCENTAJES PASANTES (%)					ESPECIFICACIONES					
ASTM	mm						MAC-2		SUPERPAVE			
CANTERA		MORRO BLANCO	MORRO BLANCO	CUNYAC	FILLER	MEZCLA AGREGADOS						
AGREGADOS		PIEDRA CHANCADA	ARENA TRITURADA	ARENA FINA	CEMENTO PORTLAND		LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCION	
PROPORCIONES						100.0%						
1"	25.40											
3/4"	19.05						100%	100%		100%		
1/2"	12.70						80%	100%	90%	100%		
3/8"	9.53						70%	88%				
Nº 4	4.76						51%	68%				
Nº 8	2.36								58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00						38%	52%				
Nº 16	1.18										25.6%	31.6%
Nº 30	0.60										19.1%	23.1%
Nº 40	0.42						17%	28%				
Nº 50	0.30										15.5%	15.5%
Nº 80	0.18						8%	17%				
Nº 100	0.15											
Nº 200	0.07						4%	8%	10%	2%		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 62

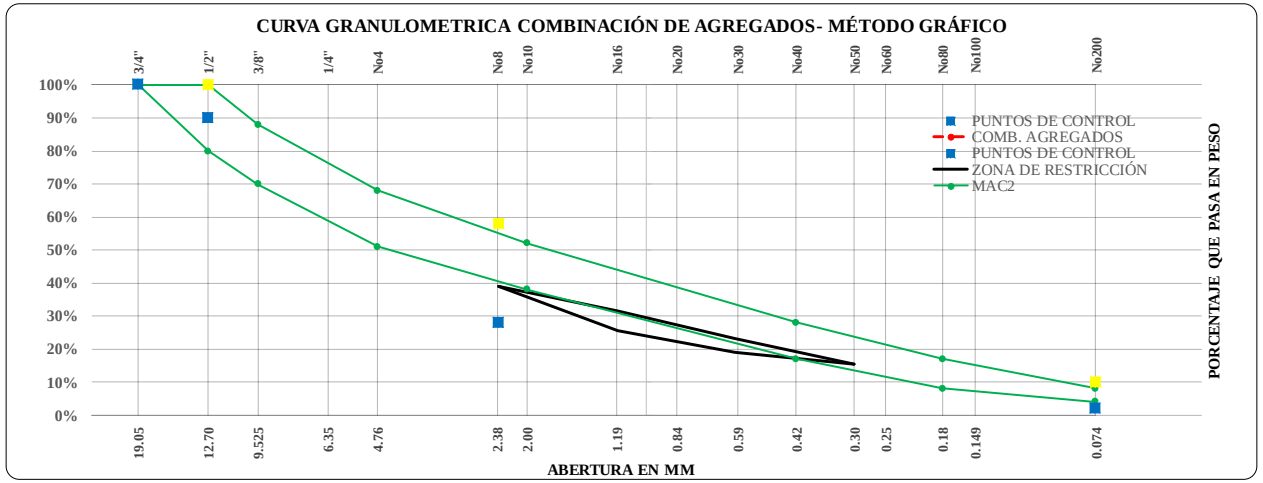
Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis granulométrico de combinación de agregados–Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS MÉTODO GRAFICO- CURVA GRANULOMÉTRICA
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Combinación de Agregados Gruesos y Finos
CANTERA:	Morro Blanco - Cunyac
MUESTRA:	Piedra chancada y aArena Triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac - Arena Natural de Cunyac



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 63

Verificación del Análisis granulométrico de combinación de agregados

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS MÉTODO GRAFICO
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Combinación de Agregados Gruesos y Finos
CANTERA:	Morro Blanco - Cunyac
MUESTRA:	Piedra chancada y aArena Triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac - Arena Natural de Cunyac

GRANULOMETRÍA DE COMBINACION DE AGREGADOS- VERIFICACIÓN

CANTERA		MORRO BLANCO Y CUNYAC												ESPECIFICACIONES					
AGREGADOS														MAC-2		SUPERPAVE			
PROPORCIONES																			
MALLA		PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO 1 CORREGIDO	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO 2 CORREGIDO	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO 3 CORREGIDO	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCION	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%						
1"	25.40																		
3/4"	19.05													100%	100%		100%		
1/2"	12.70													80%	100%	90%	100%		
3/8"	9.53													70%	88%				
Nº 4	4.76													51%	68%				
Nº 8	2.36															58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00													38%	52%				
Nº 16	1.18																	25.6%	31.6%
Nº 30	0.60																	19.1%	23.1%
Nº 40	0.42													17%	28%				
Nº 50	0.30																	15.5%	15.5%
Nº 80	0.18													8%	17%				
Nº 100	0.15																		
Nº 200	0.07													4%	8%	10%	2%		
Fondo	-																		
TOTAL	-																		

PESO INICIAL 1 =	gr
MAT. PERDIDO 1=	gr
ERROR (%) 1 =	%
CORRECCIÓN 1=	gr

PESO INICIAL 2=	gr
MAT. PERDIDO 2=	gr
ERROR (%) 2 =	%
CORRECCIÓN 2=	gr

PESO INICIAL 3=	gr
MAT. PERDIDO 3=	gr
ERROR (%) 3=	%
CORRECCIÓN 3 =	gr

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 64

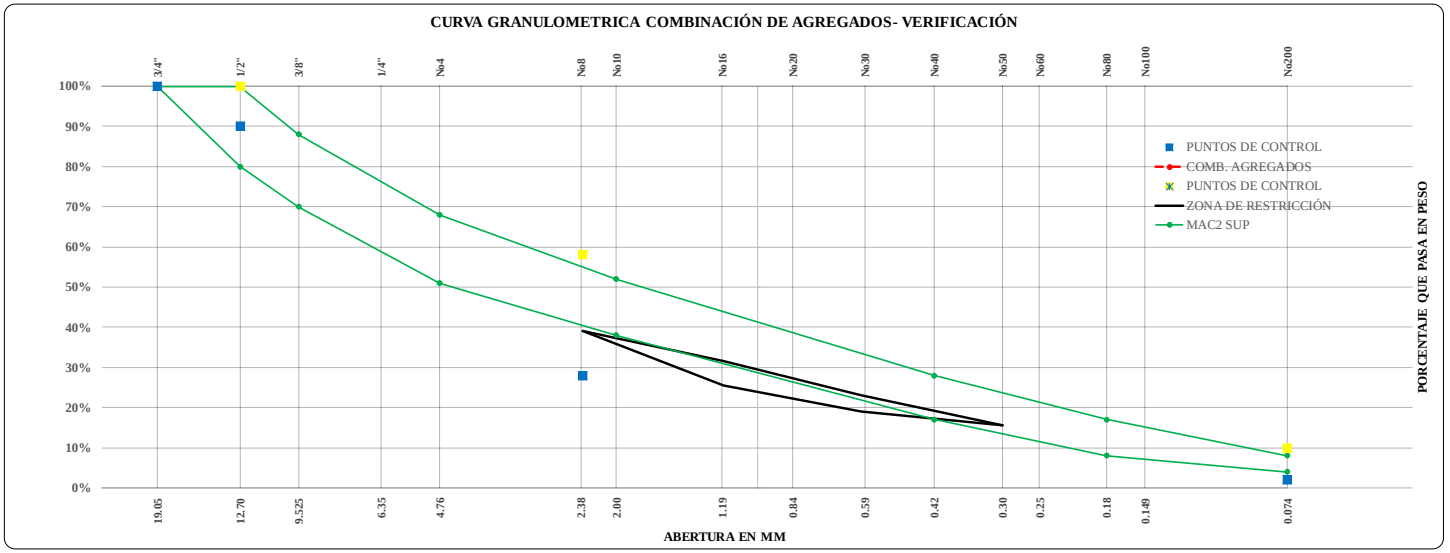
Verificación del Análisis granulométrico de combinación de agregados-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS VERIFICACIÓN
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Combinación de Agregados Gruesos y Finos
CANTERA:	Morro Blanco - Cunyac
MUESTRA:	Piedra chancada y aArena Triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac - Arena Natural de Cunyac



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 65

Formato de laboratorio para el ensayo de Penetración de materiales bituminosos

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR) CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

AD

ENSAYO:	PENETRACION DE MATERIALES BIUMINOSOS
NORMATIVA:	MTC E 304
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	22/11/2019
MATERIAL:	Asfalto
CANTERA:	Asfalto de COPESCO
MUESTRA:	Asfalto PEN 120-150

PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS			
Temperatura			
MUESTRA 1	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
Penetracion			
Promedio			
MUESTRA 2	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
Penetracion			
Promedio			
MUESTRA 3	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
Penetracion			
Promedio			

RESULTADOS DEL ENSAYO	
Muestra 1	
Muestra 2	
Muestra 3	
Valor de penetración final	

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 66

Formato de laboratorio para el ensayo de Granulometría de Granos de neumáticos reciclados (GNR) MAC

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR)
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Grano de Neumático reciclado
CANTERA:	-
MUESTRA:	Grano de Neumático reciclado

GRANULOMETRÍA DE GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR)

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	MAC-2	
1"	25.40														
3/4"	19.05													100%	
1/2"	12.70													80%	100%
3/8"	9.53													70%	88%
Nº 4	4.76													51%	68%
Nº 8	2.36														
Nº 10	2.00													38%	52%
Nº 16	1.18														
Nº 30	0.60														
Nº 40	0.42													17%	28%
Nº 50	0.30														
Nº 80	0.18													8%	17%
Nº 100	0.15														
Nº 200	0.07													4%	8%
Fondo	-														
TOTAL	-														

PESO INICIAL 1 =	gr
MAT. PERDIDO 1=	gr
ERROR (%) 1 =	%
CORRECCIÓN 1=	gr

PESO INICIAL 2=	gr
MAT. PERDIDO 2=	gr
ERROR (%) 2 =	%
CORRECCIÓN 2=	gr

PESO INICIAL 3=	gr
MAT. PERDIDO 3=	gr
ERROR (%) 3=	%
CORRECCIÓN 3 =	gr

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 67

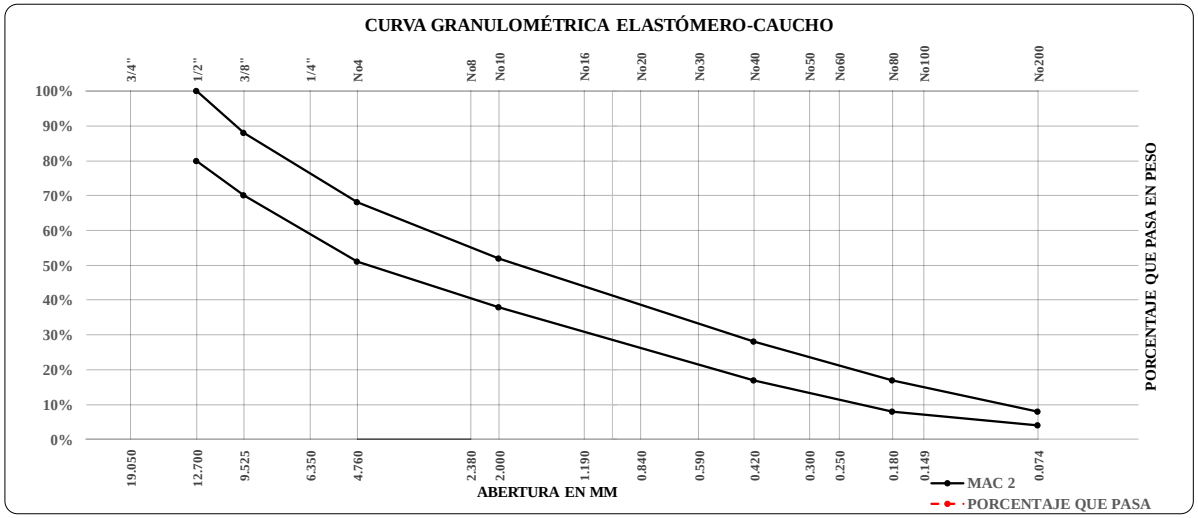
Formato de laboratorio para el ensayo de Granulometría del Granos de neumáticos reciclados (GNR) MAC-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR) - CURVA GRANULOMÉTRICA MAC 2
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Grano de Neumático reciclado
CANTERA:	-
MUESTRA:	Grano de Neumático reciclado



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 68

Formato de laboratorio para el ensayo de Granulometría del Granos de neumáticos reciclados (GNR) SUPERPAVE

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR)
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Grano de Neumático reciclado
CANTERA:	-
MUESTRA:	Grano de Neumático reciclado

GRANULOMETRÍA DE GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR)

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES			
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCION	
1"	25.40																
3/4"	19.05														100%		
1/2"	12.70													100%	90%		
3/8"	9.53																
Nº 4	4.76																
Nº 8	2.36													58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00																
Nº 16	1.18															25.6%	31.6%
Nº 30	0.60															19.1%	23.1%
Nº 40	0.42																
Nº 50	0.30															15.5%	15.5%
Nº 80	0.18																
Nº 100	0.15																
Nº 200	0.07													10%	2%		
Fondo	-																
TOTAL	-																

PESO INICIAL 1 =	gr
MAT. PERDIDO 1=	gr
ERROR (%) 1 =	%
CORRECCIÓN 1=	gr

PESO INICIAL 2=	gr
MAT. PERDIDO 2=	gr
ERROR (%) 2 =	%
CORRECCIÓN 2=	gr

PESO INICIAL 3=	gr
MAT. PERDIDO 3=	gr
ERROR (%) 3=	%
CORRECCIÓN 3 =	gr

Nota. Fuente: Propia

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 69

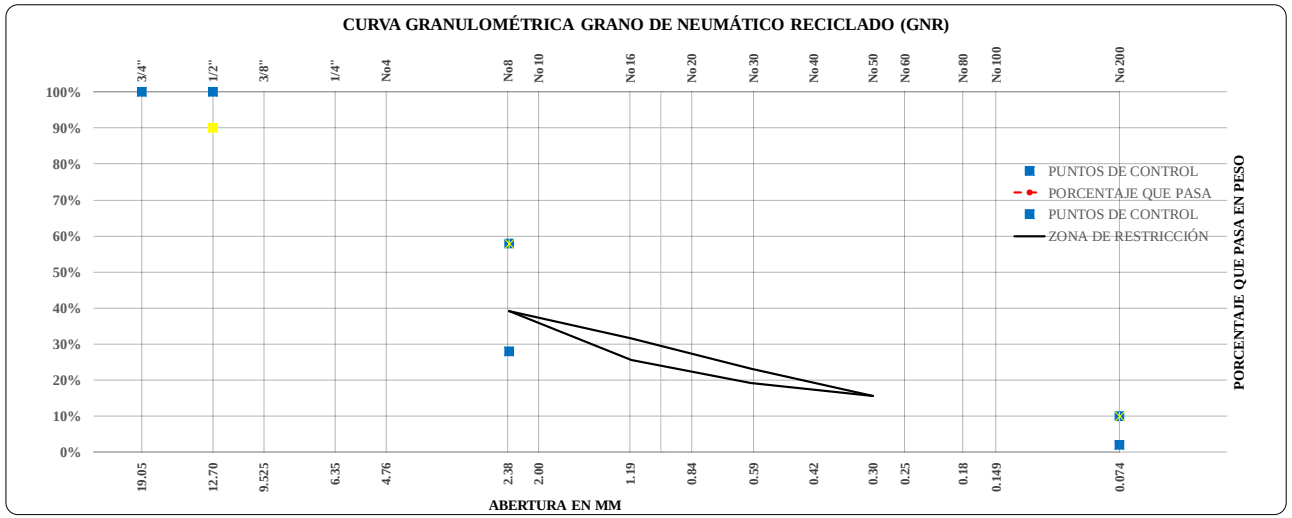
Formato de laboratorio para el ensayo de Granulometría del Granos de neumáticos reciclados (GNR) SUPERPAVE-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR) - CURVA GRANULOMÉTRICA SUPERPAVE
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Grano de Neumático reciclado
CANTERA:	-
MUESTRA:	Grano de Neumático reciclado



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 70

Formato de laboratorio para el ensayo Granulometría de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) MAC

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR)
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Botellas de plástico trituradas recicladas
CANTERA:	-
MUESTRA:	Botellas de plástico trituradas recicladas

GRANULOMETRÍA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR)																
TAMIZ	**ABERTURA**	**PESO RETENIDO 1**	**PESO RETENIDO CORREGIDO 1**	**PESO RETENIDO 2**	**PESO RETENIDO CORREGIDO 2**	**PESO RETENIDO 3**	**PESO RETENIDO CORREGIDO 3**	**PROMEDIO PESO RETENIDO**	**PORCENTAJE RETENIDO**	**PESO RET. ACUMULADO**	**PORCENTAJE ACUMULADO**	**PESO QUE PASA**	**PORCENTAJE QUE PASA**	**ESPECIFICACIONES**	
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**	**%**	**gr**	**%**	**gr**	**%**	**MAC-2**	
1"	25.40														
3/4"	19.05													100%	
1/2"	12.70													80%	100%
3/8"	9.53													70%	88%
Nº 4	4.76													51%	68%
Nº 8	2.36														
Nº 10	2.00													38%	52%
Nº 16	1.18														
Nº 30	0.60														
Nº 40	0.42													17%	28%
Nº 50	0.30														
Nº 80	0.18													8%	17%
Nº 100	0.15														
Nº 200	0.07													4%	8%
Fondo	-														
TOTAL	-														

PESO INICIAL 1 =	**gr**
MAT. PERDIDO 1=	**gr**
ERROR (%) 1 =	**%**
CORRECCIÓN 1=	**gr**

PESO INICIAL 2=	**gr**
MAT. PERDIDO 2=	**gr**
ERROR (%) 2 =	**%**
CORRECCIÓN 2=	**gr**

PESO INICIAL 3=	**gr**
MAT. PERDIDO 3=	**gr**
ERROR (%) 3=	**%**
CORRECCIÓN 3 =	**gr**

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 71

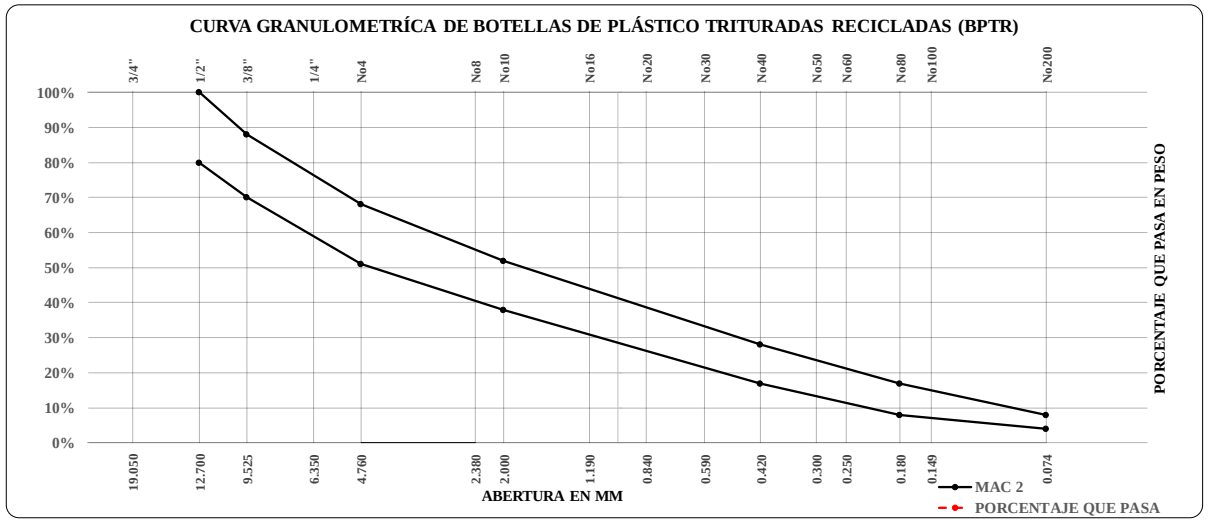
Formato de laboratorio para el ensayo Granulometría de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) MAC-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) - CURVA GRANULOMÉTRICA MAC 2
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Botellas de plástico trituradas recicladas
CANTERA:	-
MUESTRA:	Botellas de plástico trituradas recicladas



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 72

Formato de laboratorio para el ensayo Granulometría de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) SUPERPAVE

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR)
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Botellas de plástico trituradas recicladas
CANTERA:	-
MUESTRA:	Botellas de plástico trituradas recicladas

GRANULOMETRÍA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR)

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES			
														PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCION	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%				
1"	25.40																
3/4"	19.05														100%		
1/2"	12.70													100%	90%		
3/8"	9.53																
Nº 4	4.76																
Nº 8	2.36													58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00																
Nº 16	1.18															25.6%	31.6%
Nº 30	0.60															19.1%	23.1%
Nº 40	0.42																
Nº 50	0.30															15.5%	15.5%
Nº 80	0.18																
Nº 100	0.15																
Nº 200	0.07													10%	2%		
Fondo	-																
TOTAL	-																

PESO INICIAL 1 =	gr
MAT. PERDIDO 1=	gr
ERROR (%) 1 =	%
CORRECCIÓN 1=	gr

PESO INICIAL 2=	gr
MAT. PERDIDO 2=	gr
ERROR (%) 2 =	%
CORRECCIÓN 2=	gr

PESO INICIAL 3=	gr
MAT. PERDIDO 3=	gr
ERROR (%) 3=	%
CORRECCIÓN 3 =	gr

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 73

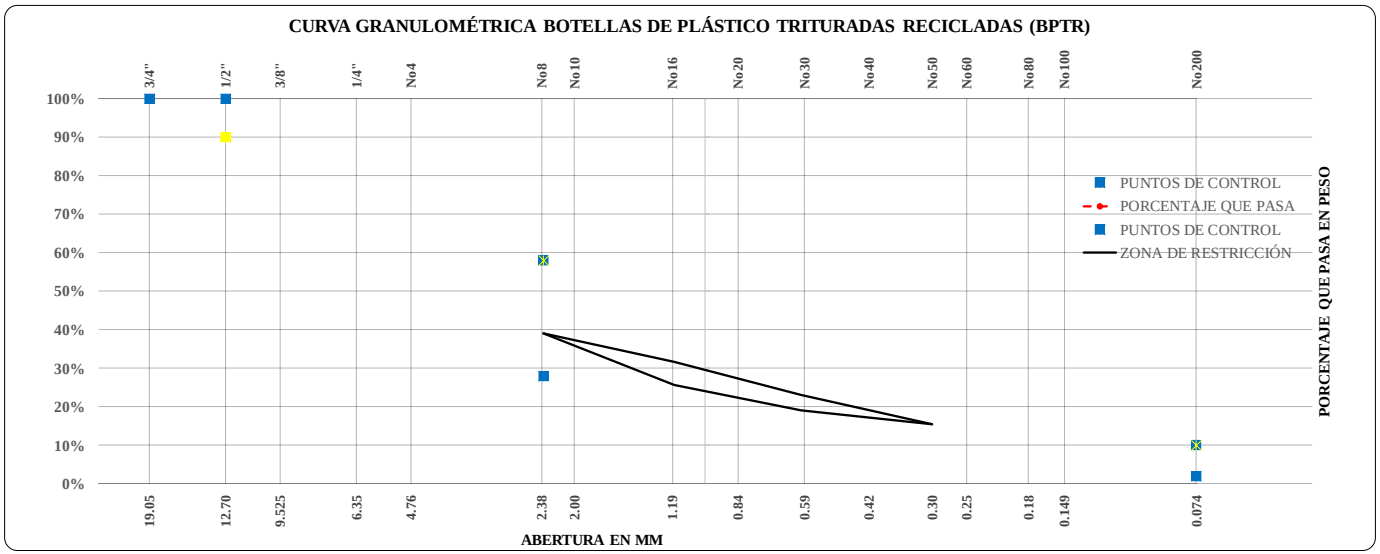
Formato de laboratorio para el ensayo Granulometría de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) SUPERPAVE-Gráfico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	GRANULOMETRÍA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) - CURVA GRANULOMÉTRICA SUPERPAVE
NORMATIVA:	MTC E 204
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Botellas de plástico trituradas recicladas
CANTERA:	-
MUESTRA:	Botellas de plástico trituradas recicladas



OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 74

Formato de laboratorio para el ensayo de Peso específico del Granos de neumáticos reciclados (GNR)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR)
NORMATIVA:	MTC E 206
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Grano de Neumático reciclado
CANTERA:	-
MUESTRA:	Grano de Neumático reciclado

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR)

PESOS	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra seca		gr				
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca		gr				
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada		gr				
	Peso específico de masa bulk (Gsb)	A/(B-C)	gr/cm3				
	Peso específico de masa saturada con superficie seca (Gsss)	B/(B-C)	gr/cm3				
	Peso específico aparente (Gsa)	A/(A-C)	gr/cm3				
	Absorción	(B-A)/A*100	%				

RESULTADOS DEL ENSAYO

% ABSORCION	

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 75

Formato de laboratorio para el ensayo de Peso específico de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL FRENTE A UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR) Y GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO (GNR), CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL CUSCO."

ENSAYO:	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR)
NORMATIVA:	MTC E 206
UBICACIÓN:	Laboratorio de suelos,concreto y asfalto UAC
FECHA:	18/10/2019
MATERIAL:	Botellas de plástico trituradas recicladas
CANTERA:	-
MUESTRA:	Botellas de plástico trituradas recicladas

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR)

PESOS	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra seca		gr				
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca		gr				
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada		gr				
	Peso específico de masa bulk (Gsb)	A/(B-C)	gr/cm3				
	Peso específico de masa saturada con superficie seca (Gsss)	B/(B-C)	gr/cm3				
	Peso específico aparente (Gsa)	A/(A-C)	gr/cm3				
	Absorción	(B-A)/A*100	%				

RESULTADOS DEL ENSAYO

% ABSORCION	

OBSERVACIONES

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.4.2 Instrumentos de Ingeniería

Durante el desarrollo de la presente investigación se realizaron ensayos pertinentes para poder obtener las propiedades físico-mecánicas tanto de los agregados.

Tabla 76

Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al agregado grueso

COMPONENTE	ENSAYO	EQUIPOS Y MATERIALES	NORMATIVA
AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA 1/2"-) CANTERA MORRO BLANCO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO	Tamizador mecánico. Tamices normalizadas ASTM con aberturas correspondientes. Balanza de precisión de 0.1 gr Brocha	MTC E 204
	ABRASIÓN LOS ÁNGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 MM (1 ½ “)	Tamices ½”y 3/8” Balanza Máquina de desgaste de los ángeles Esferas de acero, de 48 mm de diámetro y peso entre 390 y 445 gr. Horno Recipientes	MTC E 207
	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS	Balanza Bandejas Horno Franela	MTC E 206
	DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS LARGAS Y ACHATADAS	Cesta Metálica Balanza de flotación Tamices 6,3 mm (1/4”); 9,5 mm (3/8”); 12,5mm (1/2”); 19 mm Balanza con precisión 0.5 g Balanza Recipientes Brocha Escobilla Calibradores metálicos : Uno de ranuras(para índice de achatamiento) y otro de barras	ASTM 4791
	ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS	Tamices Bandeja Balanza	MTC E 210
	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO	Tamices Envases Baño maría Balanza de precisión Horno de secado Solución de sulfato de Magnesio	MTC E 209

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 77

Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al agregado fino

COMPONENTE	ENSAYO	EQUIPOS Y MATERIALES	NORMATIVA
AGREGADO FINO (ARENA TRITURADA) CANTERA MORRO BLANCO Y CUNYAC)	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS	Tamizador mecánico. Tamices normalizadas ASTM con aberturas correspondientes. Balanza de precisión Brocha	MTC E 204
	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	Balanza de precisión Estufa Frasco volumétrico de 500 cm3 de capacidad Molde cónico Varilla para apisonado Espátula Bandejas Bomba de vacíos	MTC E 205
	DETERMINACIÓN LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS	Recipiente de porcelana Cuchara de Casagrande y Calibrador (incorporado con el Taras Balanza Estufa Agua destilada Tamiz N° 40.	MTC E 110
	DETERMINACIÓN LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD	Espátula Recipiente de porcelana Balanza Horno Tamiz N°40 Taras de humedad Vidrio esmerilado Agua destilada	MTC E 111
	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DE LOS AGREGADOS FINOS	Tamices Envases Baño maría Balanza de precisión Horno de secado Solucion de sulfato de Magnesio	MTC E 209
	MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO	Cilindro graduado de plástico Tapón Tubo irrigador. Tubo flexible Un botellón de 3.785 l (1 galón) Dispositivo para tomar lecturas Recipiente metálico. Embudo, de boca ancha Reloj o cronómetro.	MTC E 114
	ENSAYO DE CALIBRACÍON DE FIOLA	Tamiz #4 Balanza de Precisión de 0.1 gr Frasco volumétrico de 500 cm3 de capacidad Baño Maria Termómetro	MTC E 113

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 78

Instrumentos de ingeniería usados para ensayos a la combinación de agregados

COMPONENTE	ENSAYO	EQUIPOS Y MATERIALES	NORMATIVA
COMBINACION DE AGREGADOS	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS	Tamizador mecánico. Tamices normalizadas ASTM con aberturas correspondientes. Balanza de precisión de 0.1 gr Brocha	MTC E 204

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 79

Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al cemento asfáltico

COMPONENTE	ENSAYO	EQUIPOS Y MATERIALES	NORMATIVA
CEMENTO ASFÁLTICO	PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS	Aparato de penetración Aguja de penetración Baño maría Bowls metálicos Termómetro Horno	MTC E 304

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 80

Instrumentos de ingeniería usados para ensayos a los adicionantes

COMPONENTE	ENSAYO	EQUIPOS Y MATERIALES	NORMATIVA
GRANOS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS (GNR)	GRANULOMETRÍA DEL ELASTÓMERO (CAUCHO)	Tamizador mecánico. Tamices normalizadas ASTM con aberturas correspondientes. Balanza de precisión Brocha	MTC E 204
	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE ELASTÓMERO (CAUCHO)	GNR Balanza Bandejas Horno Franela Cesta Metálica Balanza de flotación	MTC E 206
BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS (BPTR)	GRANULOMETRÍA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)	Tamizador mecánico. Tamices normalizadas ASTM con aberturas correspondientes. Balanza de precisión Brocha	MTC E 204
	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)	GNR Balanza Bandejas Horno Franela Cesta Metálica Balanza de flotación	MTC E 206

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 81

Instrumentos de ingeniería usados para ensayos a las mezclas asfálticas

COMPONENTE	ENSAYO	EQUIPOS Y MATERIALES	NORMATIVA
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y ADICIONADA	PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES MARSHALL	Moldes de compactación Bowl Compactador automático Marshall Varilla Eyector de muestras de asfalto Horno Balanza Juego de tamices Termómetro Guantes Bandejas metálicas Espátula Hojas de papel Cocina a gas	MTC E 504
	PESO ESPECÍFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA	Balanza de flotación Franela Canastilla de flotación	MTC E 514
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL	Equipo de compresión Marshall Baño María Cabezal de rotura Termómetro Franela Guantes Vernier	MTC E 504
	RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD (LOTTMAN MODIFICADO)	Moldes Marshall Eyector de muestras Canastilla de flotación Balanza de flotación Vernier Baño María Equipo de compresión Marshall Cabezal de rotura diametral Termómetro Horno eléctrico Congelador	MTC E 522 AASHTO T 283
	MÉTODO ESTÁNDAR DE PRUEBA PARA PREPARAR Y DETERMINAR LA DENSIDAD DE LAS MUESTRAS DE MEZCLA DE ASFALTO MEDIANTE EL COMPACTADOR GIRATORIO SUPERPAVE	Compactador Giratorio Superpave Moldes para especímenes Termómetro Balanza	AASHTO T 312
	ENSAYO DE RUEDA DE HAMURGO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	Máquina de Rueda de Hamburgo Sistema de Control de Temperatura Contador de pasos de rueda Sistema de montaje cilindrico de muestras	AASHTO T 324

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5 Procedimientos de Recolección de datos

3.5.1 Control de calidad de los Agregados gruesos

3.5.1.1 Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Tamizador mecánico.
- Tamices normalizadas ASTM con aberturas correspondientes.
- Balanza de precisión de 0.1 gr
- Brocha

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

EQUIPOS Y MATERIALES

Tamizador mecánico.

Tamices normalizadas ASTM

Balanza de precisión de 0.1 gr

Brocha

Figura 24. Equipos y materiales para el análisis granulométrico del agregado grueso

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 25. Ensayo de Granulometría de Agregado grueso de Morro Blanco.

b) Preparación de la muestra:

Para la preparación de la muestra según norma se extrajo una muestra representativa de acuerdo a MTC E 201.Previamente se realizó la recolección de dicho material de la Planta de COPESCO perteneciente Gobierno Regional del Cusco proveniente de la cantera de Morro Blanco.

Figura 26. Recolección de Agregado grueso de Morro Blanco en la planta de asfalto de COPESCO.

Método de cuarteo: Se mezcló completamente todo el material con la ayuda de una pala para proceder al cuarteo y de esta manera obtener una muestra representativa del agregado. La cantidad dependerá del tamaño máximo como indica en la Tabla siguiente:

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 82

Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	(pulg)	Kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 1/2)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 1/2)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 1/2)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

En este caso la cantidad a usar será de 2 kg.

Figura 27. Cuarteo de agregado grueso de Morro Blanco.

c) Procedimiento:

1. La granulometría del agregado fue realizado considerando las mallas establecidas para la gradación de la ASTM D 3515 (huso 5) y MAC-2, que fue seleccionada para la producción de la mezcla asfáltica, en este caso usaremos los tamices 3/4”, ½”,3/8” y N°4.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2. Separamos el material para colocarlo en partes en la serie de tamices, de esta forma prevenimos la sobrecarga en tamices y así evitaremos llegar a un resultado erróneo.

3. Colocamos la serie de tamices en el tamizador mecánico por un periodo de 3 minutos.

Figura 28. Tamizado de agregado grueso de Morro Blanco.

4. Posteriormente se realiza el tamizado manual durante un minuto, de la siguiente forma: sostener individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo bien ajustado, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes; tal y como indica el MTC.

5. Se extrajo el material retenido de cada tamiz con mucho cuidado evitando tener pérdidas de material con ayuda de una brocha.

6. Por último se pesó el material retenido por cada tamiz en una balanza de precisión.

Figura 29. Gradación de agregado grueso de Morro Blanco.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

d) Toma de datos:

Tabla 83

Datos recolectados del ensayo de granulometría Agregado Grueso-Morro Blanco

TAMIZ ASTM	ABERTURA	PESO RETENIDO 1 Gr	PESO RETENIDO 2 Gr	PESO RETENIDO 3 Gr
1"	25.40	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	953.04	1028.57	1115.43
3/8"	9.53	613.04	432.37	452.53
Nº 4	4.76	428.04	536.87	431.33
Nº 8	2.36	0.00	0.00	0.00
Nº 10	2.00	0.00	0.00	0.00
Nº 16	1.18	0.00	0.00	0.00
Nº 30	0.60	0.00	0.00	0.00
Nº 40	0.42	0.00	0.00	0.00
Nº 50	0.30	0.00	0.00	0.00
Nº 80	0.18	0.00	0.00	0.00
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00
Nº 200	0.074	0.00	0.00	0.00
Fondo	-	0.00	0.00	0.00

Nota. Fuente: Propia

3.5.1.2 Abrasión Los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm

(1 ½ “) (MTC E 207)

a) Materiales y equipos:

- Tamices ½” y 3/8”
- Balanza
- Máquina de desgaste de los ángeles
- Esferas de acero, de 48 mm de diámetro y peso entre 390 y 445 gr.
- Horno
- Recipientes

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

ABRASIÓN LOS ÁNGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 MM (1 ½ “)

EQUIPOS Y MATERIALES

Esferas de acero

Balanza

Máquina de desgaste de los ángeles

Brocha

Tamices ½”y 3/8”

Tamices #10

Figura 30. Equipos y materiales para el ensayo de abrasión los ángeles.

b) Preparación de la muestra

1. Se utilizó un agregado de ½ el cual fue previamente cuarteado, lavado y secado en el horno, Al ya saber la granulometría del material sabemos que tenemos que usar el método B

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 84

Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ±10	2 500 ±10	-.-	-.-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ±10	2 500 ±10	-.-	-.-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-.-	-.-	2 500 ±10	-.-
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº 4)	-.-	-.-	2 500 ±10	-.-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-.-	-.-		5 000
TOTAL		5 000 ±10	5 000 ±10	5 000 ± 10	5 000 ±10

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

Siguiendo el método B, tamizamos nuestro material hasta conseguir 2500 gr de agregado que pasan los 3/4¨ y se retienen 1/2, y 2500 gr de agregado que pasa la malla de ½ y se retiene en 3/8, haciendo un total de 5000 gr. Se puede tener una diferencia de +- 25 gr.

Figura 31. Agregado total que será ensayado.

c) Procedimiento:

1. Teniendo ya nuestro material, se llevó a la máquina de los ángeles, en cual lo programamos para girar durante 15 min a 500 rpm, agregando el número de bolas de acero según la tabla en este caso 11.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 85

Número de esferas a usar según la gradación.

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

Figura 32. Colocación de la muestra a la máquina de los ángeles.

2. Luego de pasado el tiempo se retiró el material en una bandeja, el cual se vuelve a tamizar en una malla # 12, ya que no contamos con dicha malla, usaremos la malla #10.

Figura 33. Muestra retirada de la máquina de los ángeles.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 34. Tamizado del material retenido por la malla #10.

3. Luego se procedió a lavar el material para remover las pequeñas partículas adheridas al material.

Figura 35. Lavado del material retirado por medio de la malla #10.

5. Luego de esto se colocó el material lavado al horno por 24 horas a una temperatura constante de 110°C.

4. Se retiró el material y pesamos para calcular la abrasión del material

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 36. Material retirado del horno.

d) Toma de datos:

Tabla 86

Datos recolectados de ensayo de abrasión

Nro ESFERAS	Nro REVOLUCIONES	TIEMPO DE ROTACIÓN Min	PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	PESO DE MATERIAL DESGASTADO Gr
11	500	15.00	5000.00	3835.00

Nota. Fuente: Propia.

3.5.1.3 Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206)

a) Materiales y equipos:

- Balanza
- Bandejas
- Horno
- Franela
- Cesta Metálica
- Balanza de flotación

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

EQUIPOS Y MATERIALES

Balanza de flotación

Horno

Canastilla de flotación

Franela

Figura 37. Equipos y materiales para el ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos.

Figura 38. Ensayo de peso específico del agregado grueso de Morro Blanco

.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Preparación de la muestra

Se descartó todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (Nº 4) por tamizado seco y luego se lavó el material para remover polvo u otras impurezas superficiales, posteriormente secar el material hasta obtener un peso constante.

Se mezcló la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria usando el procedimiento descrito en la ASTM C 702.

El peso mínimo de la muestra de ensayo será usado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 87

Peso mínimo de la muestra de ensayo de abrasión

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

Se separó 2 kg, en 3 distintas bandejas, debido a que realizaremos el ensayo 3 veces.

Figura 39. Material que será ensayado.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

c) Procedimiento:

1. Obtenida la muestra seca (2 kg), se sumergió el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de 24 h ± 4 h.

Figura 40. Material sumergido en agua.

2. Pasada las 24 h, remover la muestra del agua y secarla superficialmente sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desparecer la película de agua visible, obteniendo el agregado en condición de saturación con superficie seca, determinamos el peso.

Figura 41. Secado del material saturado superficialmente seco.

3. Después de pesar, se colocó de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre (previamente pesada en agua) y se determina su peso en agua, se debe sacudir el recipiente mientras se sumerge para eliminar el aire atrapado.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 42. Pesado en agua del agregado grueso saturado.

d) Toma de datos:

Tabla 88
Datos recolectados del ensayo de peso específico de agregado grueso

MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA SECA (A) Gr.	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (B) Gr.	PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (C) Gr.
1	2000	2016.90	1251.50
2	2000	2013.00	1249.10
3	2000	2016.00	1251.80

Nota. Fuente: Propia.

3.5.1.4 Determinación de partículas largas y achatadas (ASTM D 4791)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Tamices 6,3 mm (1/4”); 9,5 mm (3/8”); 12,5mm (1/2”); 19 mm (3/4”)
- Balanza con precisión 0.5 g
- Balanza
- Calibradores metálicos
- Brocha
- Escobilla
- Recipientes

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS LARGAS Y ACHATADAS

EQUIPOS Y MATERIALES

Figura 43. Equipos y materiales usados en el ensayo de determinación de partículas largas y achatadas.

Figura 44. Ensayo de determinación de partículas largas y achatadas.

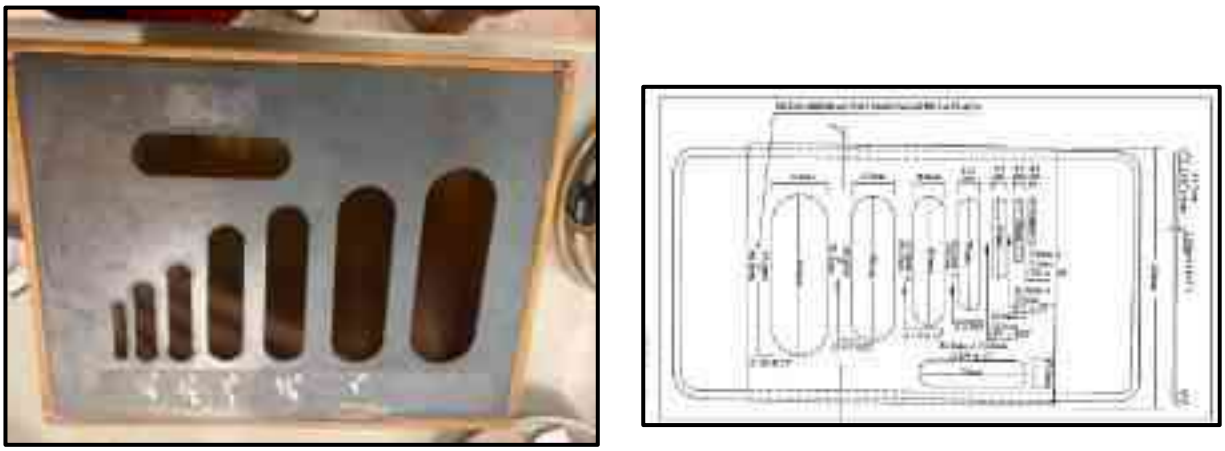


Figura 45. Calibrador metálico para índice de achatamiento.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

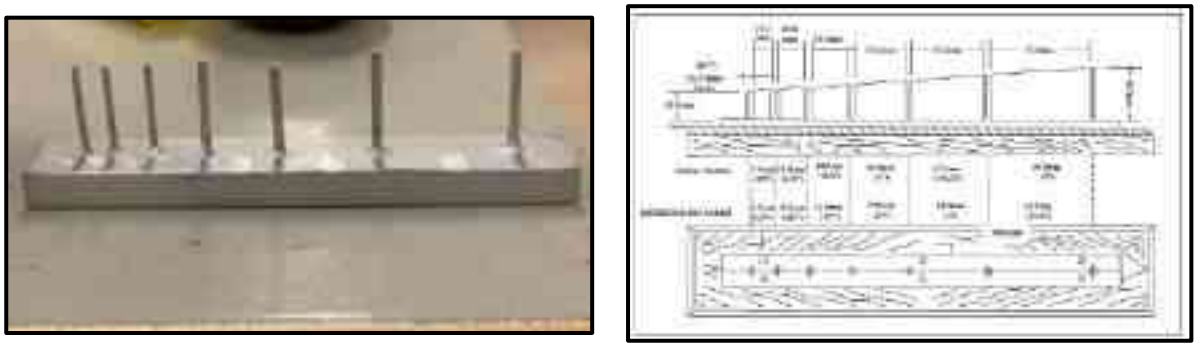


Figura 46. Calibrador metálico para índice de alargamiento.

b) Preparación de la muestra

Se mezcló completamente la muestra y reducir para ensayo por cuarteo

Se obtuvo la muestra de agregado de acuerdo a la norma, en función del tamaño máximo nominal.

Previamente se desechó los tamaños no comprendidos entre 63 mm (2 ½") y 6,3 mm (1/4").

Tabla 89

Peso mínimo del material para ensayo de determinación de partículas largas y achatadas

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO mm (pulg)		PESO MÍNIMO DEL MATERIAL PARA ENSAYO, TAMAÑO DEL AGREGADO ENTRE 63,0 mm (2 ½") Y 6,3 mm (1/4") kg
mm	(Pulg)	kg
50,0	(2)	35
40,0	(1 ½)	15
25,0	(1)	5
20,0	(3/4)	2
12,5	(1/2)	1
10,0	(3/8)	0,5

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

c) Procedimiento:

1. Una vez así separada la muestra para el ensayo, se secó en el horno hasta que el material tengo un peso constante.

2. Se procedió a realizar su análisis granulométrico de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 90

Dimensiones de los calibradores, grosor y longitud y peso mínimo para subdivisión de la fracción

Dimensiones de los calibradores grosor y longitud y peso mínimo para subdivisión de la fracción						
Tamices				Dimensiones del calibrador (mm)		Peso mínimo para subdivisión (kg)
Pasa		Retiene		Aplanamiento	Alargamiento	
mm	(pulg)	mm	(pulg)	Abertura de la ranura(1)	Separación de las barras(2)	
63,0	(2 ½")	50,0	(2")	33,9	---------	50
50,0	(2 ")	37,5	(1 ½")	26,3	78,8	35
37,5	(1 ½")	25,0	(1")	18,8	56,3	15
25,0	(1 ")	19,0	(3/4")	13,2	39,6	5
19,0	(3/4")	12,5	(1/2")	9,5	28,4	2
12,5	(1/2")	9,5	(3/8")	6,6	19,8	1
9,5	(3/8")	6,3	(1/4")	4,7	14,2	0,5

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

3. Se determina el peso Pi de cada fracción retenida en cada tamiza y las separamos en una bandeja.

4. Según la norma, guiándonos de los pesos retenidos en cada tamiz indicamos cuantas piedras se ensayarán.

- ✓ Menos del 5% de retenido no se ensaya
- ✓ Entre el 5% y 15% de retenido, se ensayan 100 partículas.
- ✓ Más del 15% de retenido se ensayan 200 partículas.

5. Se enumeró las piedras correspondientes al ensayo para de esta forma ver cuáles son aplanadas o alargadas y pesarlas.

Figura 47. Partículas enumeradas.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

6. Dichas piedras se pasaron por el calibrador metálico, se hace pasar cada partícula en el calibrador de achatamiento por los agujeros correspondiente a la fracción que se ensaya.

Figura 48. Pasando partículas por el Calibrador metálico para índice de achatamiento.

7. La cantidad total de partículas de cada fracción retenida en la caja se pesa y la cantidad total de partículas de cada fracción que no pasa, serán las elegidas alargadas.

8. Con este material que quedo retenido, disponemos a medir el largo, ancho y espesor de cada partícula, insertando dichos datos al Excel, lo cual si cumple con la siguiente condición:

$$\frac{3}{5} * \left(\frac{(L+A+E)}{3}\right) > E$$

Será considerada achatada o aplanada.

Figura 49. Medición de las partículas.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 50. Partículas determinadas achatadas.

9. Posteriormente se hizo pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya.

Figura 51. Pasando partículas por el calibrador metálico para índice de alargamiento.

10. Con este material que quedo retenido, se dispuso a medir el largo, ancho y espesor de cada partícula, insertando dichos datos al Excel, lo cual si cumple con la siguiente condición:

$$\frac{9}{5} * \left(\frac{(L+A+E)}{3}\right) < \mathrm{L}$$

Será considerada alargada.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 52. Partículas alargadas.

11. Disponemos a pesar todas las partículas que resultaron alargadas y las que resultaron achatadas.

d) Toma de datos:

Tabla 91

Datos recolectados del ensayo de determinación de partículas largas

TAMIZ		PESO RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL
PASA	**RETIENE**	**Gr.**		**Gr.**	**Gr.**
3/4"	**1/2"**	611.50	138	611.50	13.10
1/2"	**3/8"**	355.20	190	355.20	9.80
3/8"	**1/4"**	33.30	-	-	-

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 92

Datos recolectados del ensayo de determinación de partículas chatas o aplanadas

TAMIZ		PESO RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL
PASA	**RETIENE**	**Gr.**		**Gr.**	**Gr.**
3/4"	**1/2"**	611.50	138	611.50	32.90
1/2"	**3/8"**	355.20	190	355.20	43.50
3/8"	**1/4"**	33.30	-	-	-

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.1.5 Ensayo de determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el Agregado Grueso (MTC E 210)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Tamices
- Bandeja
- Balanza

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO

EQUIPOS Y MATERIALES

Tamices Normalizados

Bandejas

Balanza de precisión de 0.1 gr

Figura 53. Equipos y materiales para el ensayo de determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.

b) Preparación de la muestra

La muestra debe ser representativa, se lavó y seco el material para eliminar finos y posteriormente se obtuvo la muestra mediante un cuidadoso cuarteo.

Se separó por medio del tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamices que se muestran:

Tabla 93

Peso mínimo usado para el ensayo de determinación de partículas fracturadas

Tamaño del agregado		Peso en g
37.5 a 25.0 mm	(1 1/2" a 1)	2000
25.4 a 19.0 mm	(1" a 3/4")	1500
19.0 a 12.5 mm	(3/4" a 1/2")	1200
12.5 a 9.5 mm	(1/2" a 3/8")	300

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

En este caso al ser un agregado de ½" se seleccionó 1200 gr de material pasante la 3/4" y retenido en ½", y 300 gr de material pasante ½" y retenido en 3/8".

c) Procedimiento:

1. Con el material ya listo, dividimos el material de retenido en ½" en tres categorías: (1) partículas con una cara fracturada, (2) partículas con dos caras fracturadas y sin caras fracturadas.

Guiándonos de las siguientes características:

Una partícula **se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área** de la superficie aparece fracturada

Figura 54. Partículas separadas en grupos.

2. Con el material ya dividido se calculó la masa de partículas en las categorías 1 y 2. Usamos dicha masa para calcular el porcentaje de partículas fracturadas.

Figura 55. Pesado de los grupos de partículas.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

d) Toma de datos:

Tabla 94

Datos recolectados del ensayo de porcentaje de caras fracturadas con una cara fracturadas

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO	FRACTURADAS
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	(gr)	(gr)
3/4"	1/2"	970.7	945.00
1/2"	3/8"	529.3	518.40

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 95

Datos recolectados del ensayo de porcentaje de caras fracturadas con dos o más caras fracturadas

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO	FRACTURADAS
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	(gr)	(gr)
3/4"	1/2"	970.7	847.40
1/2"	3/8"	529.3	501.10

Nota. Fuente: Propia.

3.5.1.6 Durabilidad al sulfato de Sodio y sulfato de Magnesio del agregado grueso (MTC E 209)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Tamices
- Envases
- Baño maría
- Balanza de precisión
- Horno de secado
- Solución de sulfato de Magnesio

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO GRUESO

EQUIPOS Y MATERIALES

Tamices Normalizados

Baño Maria

Balanza de precisión

Horno de secado

Envases

Solución de sulfato de Magnesio

*Figura 56.*Equipos y materiales para el ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio al agregado grueso.

b) Preparación de la muestra:

Solución de sulfato de magnesio: Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25 pc a 30 pc. Se agrega suficiente sal de la forma anhidra (MgSO4) o la forma cristalina (MgSO4.7H2O), para asegurar la saturación con la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para ser usada en los ensayos. Se agita la mezcla completamente durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos frecuentes hasta que se vaya a usar.

Agregado Grueso: El agregado grueso para el ensayo será el material retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (Nº 4). Este material se ensayará de acuerdo con el procedimiento descrito para agregado fino. La muestra será de un peso tal que una vez tamizada queden las

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

siguientes cantidades de cada uno de los distintos tamaños (los pesos retenidos serán por lo menos el 5% de la muestra tamizada).

Tabla 96

Peso mínimo para realizar el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
Consistiendo de:	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
Consistiendo de:	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 ½") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")	5 000 ± 300
Consistiendo de:	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 ½")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 ½") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

c) Procedimiento:

1. Después de tener las muestras ya separadas por tamiz con las cantidades indicadas, se colocó la muestra en recipientes y se llenó con la solución de sulfato de magnesio hasta cubrir 2 cm por encima del nivel de la muestra y se dejó en baño María de 16 a 18 horas a una temperatura constante de 25°C.

Figura 57. Sumersión del agregado grueso en Sulfato de Magnesio.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 58. Muestras en baño María a 25°C.

2. Pasado dicho tiempo se extrajo la muestra del baño maría para decantar el sulfato de magnesio, se enjuaga la muestra y se coloca en el horno a una temperatura entre 105°C y 110°C hasta obtener un peso constante, por un tiempo de 12 horas.

Figura 59. Enjuague de las muestras.

3. Luego se volvió a colocar las muestras con el sulfato de magnesio anteriormente decantado en el baño María.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 60. Muestras en baño María a 25°C.

4. Este mismo proceso se realizó durante 5 ciclos, al concluir con los ciclos se procedió a tomar el ultimo peso del agregado al salir del horno.

d) Toma de datos:

Tabla 97

Datos recolectados del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio de agregados gruesos

TAMIZ ASTM	PESO RETENIDO Gr.	PESO INICIAL Gr.	PESO FINAL Gr.
3/4"-1/2"	670.000	671.100	627.800
1/2" - 3/8"	300.000	302.100	284.900
3/8" - N° 4	300.000	301.800	267.400

Nota. Fuente: Propia.

3.5.2 Control de calidad de los Agregados finos

3.5.2.1 Análisis granulométrico de agregados finos (MTC E 204)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Tamizador mecánico.
- Tamices normalizadas ASTM con aberturas correspondientes.
- Balanza de precisión
- Brocha

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS
EQUIPOS Y MATERIALES

Tamizador mecánico.

Tamices normalizadas ASTM

Balanza de precisión de 0.1 gr

Brocha

Figura 61. Equipo y materiales usados en el análisis granulométrico de agregados finos.

Figura 62. Ensayo de Granulometría de los agregados finos.

b) Preparación de la muestra:

Para la preparación de la muestra según norma se extrae una muestra representativa de acuerdo a MTC E 201.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Previamente se realizó la recolección de dicho material de la Planta de COPESCO perteneciente Gobierno Regional del Cusco. La arena fina proveniente de Cunyac y la arena Triturada proveniente de la cantera de Morro Blanco. Se realiza el análisis granulométrico por cada tipo de agregado.

Figura 63. Recolección de agregados.

Método de cuarteo: Se mezcló completamente todo el material con la ayuda de una pala para proceder al cuarteo y de esta manera obtener una muestra representativa del agregado. La cantidad según el Manual de ensayos de laboratorio será de 300 gramos mínimo. Tomando en este caso la cantidad de 2 kg.

Figura 64. Cuarteo del Arena natural de Cunyac.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

c) Procedimiento:

1. La granulometría del agregado fue realizado considerando las mallas establecidas para la gradación de la ASTM D 3515 (huso 5) y MAC-2, que fue seleccionada para la producción de la mezcla asfáltica, en este caso usaremos los tamices N°4, N°8, N°10, N°16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°100 Y fondo.
2. Separamos el material para colocarlo en partes en la serie de tamices, de esta forma prevenimos la sobrecarga en tamices y así evitaremos llegar a un resultado erróneo.

3. Colocamos la serie de tamices en el tamizador mecánico por un periodo de 3 minutos.

4. Posteriormente se realizó el tamizado manual durante un minuto, de la siguiente forma: sostener individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo bien ajustado, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes; tal y como indica el MTC.

5. Se extrajo el material retenido de cada tamiz con mucho cuidado evitando tener pérdidas de material con ayuda de una brocha.

6. Por último se pesó el material retenido por cada tamiz en una balanza de precisión.

Figura 65. Determinación del peso del tamiz N°16.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 66. Gradación del agregado fino – Arena natural de Cunyac

Figura 67. Gradación del agregado fino – Arena Triturada de Morro Blanco

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

d) Toma de datos:

Tabla 98

Datos recolectados del ensayo de granulometría de agregados finos-Arena natural de Cunyac

TAMIZ ASTM	ABERTURA	PESO RETENIDO 1 Gr	PESO RETENIDO 2 Gr	PESO RETENIDO 3 Gr
1"	25.40	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00
Nº 4	4.76	60.70	62.15	58.50
Nº 8	2.36	97.05	81.65	112.60
Nº 10	2.00	18.42	18.50	21.10
Nº 16	1.18	58.53	76.60	82.00
Nº 30	0.60	131.37	192.20	130.30
Nº 40	0.42	158.69	164.70	136.90
Nº 50	0.30	216.34	170.90	206.00
Nº 80	0.18	181.38	149.70	183.00
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00
Nº 200	0.074	69.04	65.20	58.70
Fondo	-	8.27	13.70	9.00

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 99

Datos recolectados del ensayo de granulometría de agregados finos-Morro Blanco

TAMIZ ASTM	ABERTURA	PESO RETENIDO 1 Gr	PESO RETENIDO 2 Gr	PESO RETENIDO 3 Gr
1"	25.40	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00
Nº 4	4.76	153.20	158.30	131.80
Nº 8	2.36	247.52	265.40	249.00
Nº 10	2.00	46.53	38.90	44.60
Nº 16	1.18	124.40	119.60	125.90
Nº 30	0.60	116.63	105.30	117.10
Nº 40	0.42	56.61	49.70	55.20
Nº 50	0.30	51.52	50.00	53.70
Nº 80	0.18	67.01	66.90	70.10
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00
Nº 200	0.074	87.78	99.30	97.80
Fondo	-	47.43	46.20	53.50

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.2.2 Gravedad específica y absorción del agregado fino (MTC E 205)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza de precisión
- Estufa
- Frasco volumétrico de 500 cm3 de capacidad
- Molde cónico, metálico de 40 ± 3 mm de diámetro interior en su base menor, 90 ± 3 mm de diámetro interior en una base mayor y 75 ± 3 mm de altura.
- Varilla para apisonado, metálica, recta, con un peso de 340 ± 15 g y terminada en un extremo en una superficie circular plana para el apisonado, de 25 ± 3 mm de diámetro.
- Espátula
- Bandejas
- Bomba de vacíos

Figura 68. Equipos y materiales usados para el ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 69. Ensayo de gravedad especifica de Agregados Finos.

b) Preparación de la muestra:

1. Muestrear el agregado de acuerdo con la MTC E 201. Mezclar uniformemente y reducir por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg.

Figura 70. Cuarteo del Arena natural de Cunyac.

2. Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas, dicho procedimiento se realiza para la arena fina de Cunyac y para la arena triturada de Morro Blanco, 3 recipientes por arena.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3. Posterior a las 24 horas se decanta el agua evitando la perdida de finos y extendemos sobre una superficie plana y con ayuda de la estufa secamos el material con la finalidad de que este se encuentre en una condición de Saturado Superficialmente seco.

Figura 71. Secado del agregado fino en la Estufa.

4. Sabremos que se encuentra en dicha condición (SSS) si las partículas del agregado no se adhieran entre sí. Colocar en el molde cónico la arena golpear la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde. Si existe humedad libre el cono de agregado fino mantiene su forma. Seguir secando, revolver constantemente y probar hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, lo que indica que el agregado fino alcanzó una condición de saturado superficialmente seco.

Figura 72. Apisonado de la arena dentro del molde.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 73. Prueba de que la arena se encuentra en condición: Saturado superficialmente seco.

c) Procedimiento:

1. Se realizó la calibración de la fiola que usaremos según MTC E 113:

Colocamos la fiola llena de agua (hasta la marca) en baño maría y medimos la temperatura del agua contenida (hasta la marca) y pesamos la fiola con agua. Realizamos este procedimiento 5 veces. Teniendo 5 datos de temperatura y 5 pesos distintos.

Al realizarse el ensayo con 2 fiolas distintas, una para cada tipo de arena, se realizó la calibración de 2 fiolas.

Figura 74. Calibración de fiola previo al inicio del ensayo.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 75. Medición de la temperatura.

2. Se pesó la fiola con la que trabajaremos vacía.

Figura 76. Peso de la fiola.

3. Se introdujo en la fiola calibrada una muestra de 500 g de material preparado (SSS) y llenamos parcialmente con agua a una temperatura de 23 ± 2 ºC hasta alcanzar la marca de 500 cm3.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 77. Peso de la arena en condición saturada superficialmente seca.

Figura 78. Colocación de la arena en la fiola.

4. Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual, posteriormente se realizará la eliminación de burbuja de aire con ayuda de la bomba de vacíos, con mucho cuidado para evitar perdida de material y determinar el peso.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 79. Extración de burbujas de aire con bomba de vacios.

Figura 80. Peso de fiola+agua+arena sin vacíos.

5. Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 ºC, enfriar a temperatura ambiente por ½ a 1 ½ hora y determinar el peso o secarla en el horno.

El mismo proceso se realizo para 3 muestras de cada agregado (Arena Cunyac y Arena Triturada de Morro Blanco).

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

d) Toma de datos:

Tabla 100

Datos recolectados de la calibración de fiola-Arena natural de Cunyac

Nro. DE MUESTRA	PESO Gr.	TEMPERATURA °C
1	686.200	18.900
2	685.900	24.200
3	685.600	27.600
4	685.500	30.300

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 101

Datos recolectados de la calibración de fiola-Morro Blanco

Nro. DE MUESTRA	PESO Gr.	TEMPERATURA °C
1	649.000	19.900
2	648.900	22.900
3	648.500	25.400
4	647.800	27.600

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 102

Datos recolectados de ensayo de peso específico de agregados finos-Arena natural Cunyac

MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA SECA (A) Gr.	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (B) Gr.	PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (C) Gr.	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (D) Gr.
1	494.44	685.80	999.10	500.00
2	491.77	685.80	998.60	500.00
3	490.37	685.80	998.40	500.00

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 103

Datos recolectados de ensayo de peso específico de agregados finos-Morro Blanco

MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA SECA (A) Gr.	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (B) Gr.	PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (C) Gr.	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (D) Gr.
1	494.47	648.55	958.70	500.00
2	493.22	648.55	959.60	500.00
3	494.33	648.55	958.60	500.00

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.2.3 Determinación limite líquido de los suelos (MTC E 110)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Recipiente de porcelana
- Cuchara de Casagrande y acanalador
- Calibrador (incorporado con el acanalador)
- Taras
- Balanza
- Estufa
- Agua destilada
- Tamiz N° 40

DETERMINACIÓN LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

EQUIPOS Y MATERIALES

Recipiente de Porcelana

Cuchara Casgrande y acanalador

Estufa

Balanza de precisión

Agua Destilada

Tamiz #40

Figura 81. Equipos y materiales usados en el ensayo de determinación de límite líquido.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 82. Materiales para determinación del límite liquido de la arena.

b) Preparación de la muestra:

Se obtuvo una porción representativa de la muestra total seca, suficiente para proporcionar 250 g a 300 g de material pasante del tamiz 425 µm (Nº 40)

Figura 83. Tamizado de la arena por la malla N° 40.

c) Procedimiento:

1. Se calibro la cuchara de Casagrande.

Figura 84. Calibración de la cuchara de Casagrande.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2. Se agregó agua a la muestra, mezclando con la espátula obteniendo una porción representativa de la masa total.

Figura 85. Mezclado de la muestra con agua.

3. Se procedió a colocar el suelo preparado en la cuchara Casagrande, esparciéndola en la copa hasta aproximadamente 10 mm en el punto más profundo, teniendo cuidado de no dejar burbujas de aire atrapadas. Mientras mantenemos el suelo preparado no usado en el recipiente de porcelana para retener la humedad.

Figura 86. Muestra esparcida en la cuchara de Casagrande.

4. Con ayuda del acanalador se realizó una ranura a través del suelo siguiendo una línea que une el punto más alto y más bajo.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 87. Acanalado del material sobre la cuchara de Casagrande.

5. Se levantó y soltó la copa girando el manubrio a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo, esto se realiza hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de ranura una longitud de 13 mm.

Figura 88. Junta de la arena en la cuchara de Casagrande.

Este paso no se logró concretar debido a que los materiales finos usados (Arena Cunyac y Arena triturada) tienen naturaleza arenosa razón por lo cual el material se juntaba rápidamente, por lo cual no se obtuvieron datos de esta prueba.

d) Toma de datos:

Tabla 104

Datos recolectados del ensayo de determinación de límite liquido-Arena natural de Cunyac

MUESTRA	Nro DE GOLPES	PESO DE RECIPIENTE Gr.	PESO DE RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO Gr.	PESO DE RECIPIENTE + SUELO SECO Gr.
1	4	NP	NP	NP
2	5	NP	NP	NP

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 105

Datos recolectados del ensayo de determinación de límite liquido-Morro Blanco

MUESTRA	Nro DE GOLPES	PESO DE RECIPIENTE Gr.	PESO DE RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO Gr.	PESO DE RECIPIENTE + SUELO SECO Gr.
1	5	NP	NP	NP
2	7	NP	NP	NP

Nota. Fuente: Propia.

3.5.2.4 Determinación limite plástico e índice de plasticidad (MTC E 111)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Espátula
- Recipiente de porcelana
- Balanza
- Horno
- Tamiz N°40
- Taras de humedad
- Vidrio esmerilado
- Agua destilada

DETERMINACIÓN LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

EQUIPOS Y MATERIALES

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Taras

Tamiz #40

Agua Destilada

Vidrio Esmerillado y varilla 1/8"

Figura 89. Equipos y materiales usados para el ensayo de determinación de límite plástico e índice de plasticidad.

b) Preparación de la muestra:

Se tomó 50 g de muestra que pase por el tamiz N°40, se amaso con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con dicha masa. Tomamos una porción de 1.5 a 2 gramos para realizar el ensayo.

Figura 90. Tamizado de la arena por la malla N° 40.

c) Procedimiento:

1. Se tomó la porción obtenida para realizar cilindros alargados con la ayuda de los dedos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 91. Formación de cilindros alargados con la ayuda de los dedos.

2. Si antes de llegar al cilindro a un diámetro de 3.2 mm no se desmorona, se vuelve a formar un elipsoide hasta que se desmorone con dicho diámetro aproximadamente. Este paso no se logró concretar debido a que los materiales finos usados (Arena Cunyac y Arena triturada) tienen naturaleza arenosa, por lo cual no se obtuvieron datos de esta prueba.

Figura 92. Comparación del cilindro con una varilla de 3.2 mm.

d) Toma de datos:

Tabla 106

Datos recolectados del ensayo de determinación de limite plástico-Arena natural de Cunyac

MUESTRA	PESO DE RECIPIENTE Gr.	PESO DE RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO Gr.	PESO DE RECIPIENTE + SUELO SECO Gr.
1	NP	NP	NP
2	NP	NP	NP

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 107

Datos recolectados del ensayo de determinación de limite plástico-Morro Blanco

MUESTRA	PESO DE RECIPIENTE Gr.	PESO DE RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO Gr.	PESO DE RECIPIENTE + SUELO SECO Gr.
1	NP	NP	NP
2	NP	NP	NP

Nota. Fuente: Propia.

3.5.2.5 Durabilidad al sulfato de Sodio y sulfato de Magnesio de los agregados finos (MTC E 209)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Tamices
- Envases
- Baño maría
- Balanza de precisión
- Horno de secado
- Solución de sulfato de Magnesio

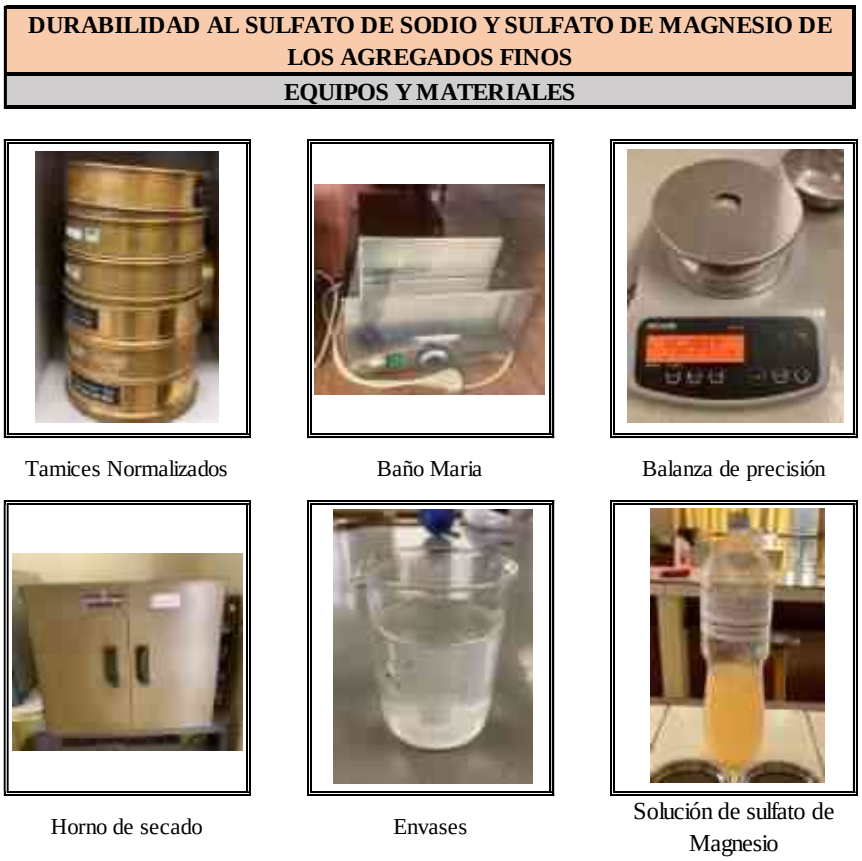


Figura 93. Equipos y materiales usados en el ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio de los agregados finos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Preparación de la muestra:

Solución de sulfato de magnesio: Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25 ºC a 30 ºC. Se agrega suficiente sal de la forma anhidra (MgSO4) o la forma cristalina (MgSO4.7H2O), para asegurar la saturación con la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para ser usada en los ensayos. Se agita la mezcla completamente durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos frecuentes hasta que se vaya a usar.

Agregado Fino: El agregado fino para el ensayo se pasará por un tamiz normalizado 9,50 mm (3/8”). La muestra será de un peso tal, que una vez tamizada queden por lo menos 100 g de material en cada uno de los tamices. Los pesos retenidos serán por lo menos de 5 % de la muestra tamizada, expresados en función de los siguientes tamices nominales:

Tabla 108

Tamices normalizados usados para el ensayo de durabilidad

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600µm (Nº 30)	300µm (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600µm (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm (3/8”)	4,75 mm (Nº 4)

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

Figura 94. Preparación de la muestra por tamiz para realizar el ensayo.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

c) Procedimiento:

1. Después de tener las muestras ya separadas por tamiz con las cantidades indicadas (tanto de arena de Cunyac como de Arena triturada de Morro Blanco), se colocó la muestra en recipientes y se llenó con la solución de sulfato de magnesio hasta cubrir 2 cm por encima del nivel de la muestra y se dejó en baño María de 16 a 18 horas a una temperatura constante de 25°C.

Figura 95. Sumersión de los agregados finos en la solución de sulfato de Magnesio.

Figura 96. Sumersión de recipientes en Baño María a 25°C.

2. Pasado dicho tiempo se extrajo la muestra del baño maría para decantar el sulfato de magnesio, se enjuaga la muestra y se coloca en el horno a una temperatura entre 105°C y 110°C hasta obtener un peso constante, por un tiempo de 12 horas.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 97. Decantación y lavado del Sulfato de Magnesio.

Figura 98. Material salido del horno.

3. Luego se volvió a colocar las muestras con el sulfato de magnesio anteriormente decantado en el baño María.

Figura 99. Sulfato de Magnesio decantado usado en todos los ciclos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 100. Sumersión de los agregados finos en el Sulfato de Magnesio.

4. Este mismo proceso se realizó durante 5 ciclos, al concluir con los ciclos se procedió a tomar el ultimo peso del agregado al salir del horno.

d) Toma de datos:

Tabla 109

Datos recolectados del ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio-Arena natural de Cunyac

TAMIZ ASTM	PESO RETENIDO Gr.	PESO INICIAL Gr.	PESO FINAL Gr.
3/8"-Nº 4	100.000	100.003	92.389
Nº 4 - N° 8	100.000	100.046	93.522
Nº 8 - N° 16	100.000	100.036	92.664
Nº 16 - N° 30	100.000	100.097	91.210
Nº 30 - N° 50	100.000	100.051	97.009

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 110

Datos recolectados del ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio-Morro Blanco

TAMIZ ASTM	PESO RETENIDO Gr.	PESO INICIAL Gr.	PESO FINAL Gr.
3/8"-Nº 4	100.000	100.094	89.941
Nº 4 - N° 8	100.000	100.024	88.963
Nº 8 - N° 16	100.000	100.039	86.523
Nº 16 - N° 30	100.000	100.091	91.560
Nº 30 - N° 50	100.000	100.087	89.330

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.2.6 Equivalente de arena (MTC E 114)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Cilindro graduado de plástico con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm y altura de 431.8 mm (17”) aproximadamente.
- Tapón macizo de GNR o goma que ajuste con el cilindro
- Tubo irrigador, de acero inoxidable, de cobre o de bronce, de 6.35 mm (¼") de diámetro exterior, y 0.89 mm (0.035") de espesor, con longitud de 508 mm (20"), con uno de sus extremos cerrado formando una arista. Las caras laterales del extremo cerrado tienen dos orificios de 1 mm de diámetro (calibre No.60), cerca de la arista que se forma.
- Tubo flexible (de plástico o GNR) de 4.7 mm (3/16") de diámetro y de 1.20 m de largo, aproximadamente, con una pinza que permita cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo conecta el sifón con el tubo irrigador.
- Un botellón de 3.785 l (1 galón) de capacidad, destinado a contener la solución de cloruro de calcio; el tapón de este frasco lleva dos orificios, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El frasco debe colocarse a 90 centímetros de altura sobre la mesa de trabajo.
- Dispositivo para tomar lecturas. Un conjunto formado por un disco de asentamiento, una barra metálica y una sobrecarga cilíndrica. Este dispositivo está destinado a la toma de lecturas del nivel de arena y tendrá un peso total de 1 kg. La barra metálica tiene 457 mm (18") de longitud; en su extremo inferior lleva enroscado un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra; la cara superior de este disco de asentamiento es de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños que sirven para centrarlo en el interior del cilindro.
- Recipiente metálico, de diámetro 57 mm (2¼") aproximadamente, con una capacidad de 85 ± 5 ml.
- Embudo, de boca ancha, de 101.6 mm (4") de diámetro.
- Reloj o cronómetro, para lecturas de minutos y segundos.
- Tamiz #4
- Solución Tipo de cloruro de calcio (Ca Cl2)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO

EQUIPOS Y MATERIALES

Kit de Equivalente de arena: Cilindro graduado, Tapón macizo,Tubo irrigador, Dispositivo para tomar lecturas, Recipiente Metálico

Cronómetro

Tamiz #4

Solución Tipo de cloruro de calcio (Ca Cl2)

Figura 101. Equipos y materiales usados en el ensayo estándar para el valor equivalente de arena.

Figura 102. Realización de ensayo de equivalente de arena.

b) Preparación de la solución y de la muestra:

Una Solución Tipo de cloruro de calcio (Ca Cl2): Se prepara con los siguientes materiales:

-454g (1 lb) de cloruro de calcio anhidro.

-2050g (l640 ml) de glicerina pura.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

-47g (45 ml) de formaldehido (en solución al 40 %, en volumen)

Preparación solución tipo: Se disuelve la cantidad indicada de cloruro de calcio (Ca Cl2) en 1.90 l (½ galón) de agua destilada. Se deja enfriar esta solución y se pasa, por papel de filtro rápido. A la solución filtrada se agregan los 2050g de glicerina y la cantidad indicada de formaldehido. Se mezcla bien y se diluye hasta que la solución llegue a los 3.785 l (1 galón) de volumen. El agua que se adiciona a esta solución será igualmente destilada.

Solución de trabajo de cloruro de calcio: (CaCl2):

Preparación: obtiene con 88 ml de la Solución Tipo, diluida en agua destilada hasta completar 3.785 l (1 galón).

Se obtiene 1500 gr como mínimo de material que pase la malla #4, dicho material debe estar libre de terrones de agregado.

c) Procedimiento:

1. Se mezcló completamente el material con ayuda de un cucharon en un recipiente, hasta que se consiga la uniformidad.

2. Se verifico que el material tenga la condición de humedad necesaria; apretando una pequeña porción de la mezcla con la palma de la mano. Si se forma un molde que permite el manipuleo sin romperse entonces se obtuvo el correcto rango de humedad. Si el material está muy seco añadimos más agua y realizamos el mismo proceso. Si el material muestra agua libre, está muy húmedo para ensayar y debe ser drenado y secado al aire, mezclándolo frecuentemente para asegurar uniformidad.

3. Al cumplir la humedad necesaria, se volvió a mezclar la muestra por 1 minuto y se formó el material como un cono.

Figura 103. Arena con forma de cono.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

4. Se tomó la lata de medida en una mano y presionarla directamente en la base del cono. Cuando la lata atraviese el cono, hacer presión con la mano para que el material llene completamente la lata. Presione firmemente con la palma de la mano compactando el material hasta que consolide en la lata. El material en exceso deberá ser nivelado en la parte superior.

Figura 104. Llenado de la lata con la arena.

Figura 105. Latas con arena enrasada.

5. Se echó la solución de trabajo de cloruro cálcico en el cilindro de plástico a una altura de 102 ± 3mm (4 ± 0,1pulg) (indicado en el cilindro graduado).

Figura 106. Solución de cloruro cálcico en el cilindro de plástico.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

6. Se vertió uno de las muestras de ensayo en el cilindro de plástico usando el embudo para evitar derramarlo.

Figura 107. Vertido de la arena en el cilindro de plástico.

7. Se golpeó ligeramente el fondo del cilindro sobre la palma de la mano varias veces para liberar las burbujas de aire y para conseguir el humedecimiento total de la muestra. Mantener al espécimen humedecido y al cilindro in disturbado por 10 ± 1 min.

8. Al final de los 10 min se sostuvo el cilindro en una posición horizontal y se agito vigorosamente en un movimiento horizontal de extremo a extremo.

Se agito el cilindro 90 ciclos en aproximadamente 30s usando un recorrido de 23±3cm (9 ± 1pulg). Un ciclo se define como un movimiento completo de ida y vuelta. Para agitar apropiadamente el cilindro a esta velocidad, será necesario que el operador agite con el antebrazo solamente, relajando el cuerpo y hombros.

Figura 108. Distancia de cada ciclo.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 109. Agitación del cilindro.

9. Se ajustó el dispositivo del sifón a una botella de 1,0 gal (3,8 L) de la solución de trabajo de cloruro de calcio. Coloque la botella a 91 ± 3cm (36 ± 1 pulg) sobre la superficie de trabajo.

Figura 110. Colocado del sifón.

10. Se insertó el tubo irrigador en la parte superior del cilindro, remover los sujetadores de la manguera, y enjuague el material de las paredes del cilindro cuando el irrigador está siendo bajado. Forzar el irrigador a través del material en el fondo del cilindro, aplicando una acción de punzonamiento y giro mientras la solución de trabajo fluye del irrigador. Esto hace que el material fino entre en suspensión sobre las partículas de arena más gruesa. Se continuó aplicando la acción de punzonamiento y giro mientras los finos continúan fluyendo hacia arriba hasta que el cilindro es rellenado en la gradación de 38,0 cm (15 pulg). Luego enjuague lentamente el tubo irrigador, sin derramar el líquido.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 111. Punzonamiento con el tubo irrigador.

11. Mantenga el cilindro y su contenido in disturbado por 20 min ± 15s. Comience a tomar el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.

12. Al final de los 20 min del periodo de sedimentación, leer y registrar el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla. Esto se refiere a la “lectura de arcilla”.

Figura 112. Lectura de arcilla.

13. Después que se ha tomado la lectura de arcilla, coloque el dispositivo de pesado de pie sobre el cilindro y baje lentamente el dispositivo, hasta que descanse sobre la arena. No permita que el indicador toque el interior del cilindro. Reste 25,4 cm (10 pulg) del nivel indicado por el borde superior extremo del indicador y registre este valor como la "lectura de arena”. Cuando esté tornando la lectura de arena, tenga cuidado de no presionar hacia abajo sobre el dispositivo de pesaje de pie, ya que podría tener un error de lectura.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 113. Lectura de arena.

14. Este procedimiento se realizó 3 veces por agregado (Arena de Cunyac y Arena triturada de Morro Blanco).

d) Toma de datos:

Tabla 111

Datos recolectados del ensayo de equivalente de arena-Arena natural de Cunyac

MUESTRA	ALTURA DE ARCILLA Pulg.	ALTURA DE DISCO Pulg.
1	4	3.7
2	4	3.8
3	4.1	3.75

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 112

Datos recolectados del ensayo de equivalente de arena-Morro Blanco

MUESTRA	ALTURA DE ARCILLA Pulg.	ALTURA DE DISCO Pulg.
1	8.4	3.2
2	8.1	3.1
3	7.1	3.35

Nota. Fuente: Propia.

3.5.3 Ensayo a la combinación de agregados

3.5.3.1 Análisis granulométrico de combinación de agregados

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Tamizador mecánico.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

- Tamices normalizadas ASTM con aberturas correspondientes.
- Balanza de precisión de 0.1 gr
- Brocha

b) Preparación de la muestra:

Para la preparación de la muestra según norma se extrajo una muestra representativa de acuerdo a MTC E 201.

Se procedió a elegir diversas combinaciones entre los siguientes agregados:

- Agregado grueso de Morro Blanco
- Arena fina de Cunyac
- Arena triturada de Morro Blanco

Dichas combinaciones se hicieron con un Excel teniendo ya las previas granulometrías, posteriormente se realizó la granulometría de las combinaciones.

c) Procedimiento:

1. Seleccionamos la serie de tamices adecuados, en este caso usaremos los tamices 3/4", ½",3/8" y N°4.

2. Separamos el material para colocarlo en partes en la serie de tamices, de esta forma prevenimos la sobrecarga en tamices y así evitaremos llegar a un resultado erróneo.

3. Colocamos la serie de tamices en el tamizador mecánico por un periodo de 3 minutos.

4. Posteriormente se realiza el tamizado manual durante un minuto, de la siguiente forma: sostener individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo bien ajustado, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes; tal y como indica el MTC.

5. Se extrajo el material retenido de cada tamiz con mucho cuidado evitando tener pérdidas de material con ayuda de una brocha.

6. Por último se pesó el material retenido por cada tamiz en una balanza de precisión.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

d) Toma de datos

Tabla 113

Datos recolectados del ensayo de análisis granulométrico de combinación de agregados

TAMIZ ASTM	ABERTURA	PESO RETENIDO 1 Gr	PESO RETENIDO 2 Gr	PESO RETENIDO 3 Gr
1"	25.40	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	178.50	135.40	140.50
3/8"	9.53	68.30	72.20	71.90
Nº 4	4.76	136.70	170.50	168.50
Nº 8	2.36	149.60	156.40	152.60
Nº 10	2.00	25.70	27.00	25.90
Nº 16	1.18	74.00	77.50	74.80
Nº 30	0.60	71.20	75.20	73.50
Nº 40	0.42	50.30	50.10	50.10
Nº 50	0.30	70.50	67.80	68.50
Nº 80	0.18	72.40	71.10	71.20
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00
Nº 200	0.074	52.10	49.10	51.80
Fondo	-	49.60	47.60	49.30

Nota. Fuente: Propia.

3.5.4 Ensayo de calidad al cemento asfáltico

3.5.4.1 Penetración de los materiales bituminosos (MTC E 304)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Aparato de penetración
- Aguja de penetración
- Baño maría
- Bowls metálicos
- Termómetro
- Horno

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS

EQUIPOS Y MATERIALES

Penetrómetro de Asfalto

Aguja de penetración

Baño Maria

Termómetro

Recipientes Metálicos

Figura 114. Equipos y materiales usados en el ensayo de penetración de materiales bituminosos.

b) Preparación de la muestra:

Se extrajo cemento asfáltico de la planta de asfalto de COPESCO perteneciente al Gobierno Regional del Cusco.

Figura 115. Extracción de cemento asfaltico PEN 120-150.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Previamente se obtuvo una muestra de aspecto homogéneo y sin contaminación. Separamos con una espátula 400 o 500 gramos de material que se colocó en un recipiente que se calentó mientras se agitaba para evitar sobrecalentamientos, en ningún caso la temperatura debe ser mayor a 60°C, evitar la incorporación de burbujas.

Posteriormente se retiró la muestra de asfalto y se colocó en los recipientes por 2 horas en baño María a 25°C con el fin de tener una temperatura constante.

c) Procedimiento:

1. Se procedió a ensayar la muestra, se colocó la muestra bajo la aguja de 100 gramos, se dejó caer la aguja controlando el tiempo de 5 segundos con ayuda de un cronometro tomando lectura de la penetración en el dial.

Figura 116. Ensayo de penetración.

2. Se realiza el mismo procedimiento para 3 muestras, de esta forma obtener 3 resultados y poder promediarlos para tener un resultado más confiable.

Figura 117. Muestras para realizar el ensayo de penetración.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

d) Toma de datos:

Tabla 114
Datos recolectados del ensayo de penetración

MUESTRA	VALORES DE PENETRACIÓN		
	PUNTO 1	PUNTO2	PUNTO3
1	127	126	127
2	124	123	126
3	124	124	125

Nota. Fuente: Propia.

3.5.5 Ensayo de calidad a los adicionantes

3.5.5.1 Granulometría del Granos de neumáticos reciclados (GNR):

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Tamizador mecánico.
- Tamices normalizadas ASTM con aberturas correspondientes.
- Balanza de precisión
- Brocha
- Granos de neumáticos reciclados

Figura 118. Granos de neumáticos reciclados (GNR).

b) Preparación de la muestra:

Figura 119. Reencauchadora.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 120. Obtención del Granos de neumáticos reciclados triturado.

Para la preparación de la muestra según norma se extrae una muestra representativa.

Método de cuarteo: Se mezcla completamente todo el material con la ayuda de una pala para proceder al cuarteo y de esta manera obtener una muestra representativa del agregado.

c) Procedimiento:

1. Seleccionamos la serie de tamices adecuados, en este caso usaremos los tamices N°10, N°16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°200 Y Fondo.

2. Separamos el material para colocarlo en partes en la serie de tamices, de esta forma prevenimos la sobrecarga en tamices y así evitaremos llegar a un resultado erróneo.

Figura 121. Material para tamizar.

3. Colocamos la serie de tamices en el tamizador mecánico por un periodo de 3 minutos.

4. Posteriormente se realiza el tamizado manual durante un minuto, de la siguiente forma: sostener individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo bien ajustado, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes; tal y como indica el MTC.

5. Extraemos el material retenido de cada tamiz con mucho cuidado evitando tener pérdidas de material con ayuda de una brocha.

Figura 122 .Gradación del Granos de neumáticos reciclados (GNR).

6. Por último pesamos el material retenido por cada tamiz en una balanza de precisión.

d) Toma de datos:

Tabla 115

Datos recolectados del ensayo de Granulometría del Granos de neumáticos reciclados (GNR)

TAMIZ ASTM	ABERTURA	PESO RETENIDO 1 Gr	PESO RETENIDO 2 Gr	PESO RETENIDO 3 Gr
1"	25.40	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00
Nº 8	2.36	0.00	0.00	0.00
Nº 10	2.00	97.30	98.50	96.50
Nº 16	1.18	110.50	113.70	110.80
Nº 30	0.60	29.80	24.71	29.71
Nº 40	0.42	27.30	28.60	30.80
Nº 50	0.30	11.20	11.40	10.80
Nº 80	0.18	11.40	11.70	9.30
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00
Nº 200	0.074	9.80	8.80	8.70
Fondo	-	1.70	1.90	2.10

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.5.2 Peso específico de Granos de neumáticos reciclados (GNR):

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Balanza de flotación
- Canastilla de balanza de flotación
- Granos de neumáticos reciclados (GNR)
- Malla

b) Preparación de la muestra:

1. Para realizar dicho ensayo se utilizó Granos de neumáticos reciclados (GNR) previamente tamizado, retenido por la malla #8 debido a que por el tamaño del mismo , no se perdera material al momento de pesar en agua.

2. Granos de neumáticos reciclados (GNR) previamente pesado fue sumergido en agua por un periodo de 24 horas , y posteriormente se seco superficialmente para poder realizar el ensayo.

c) Procedimiento:

1. Se procedió a forrar la canastilla con una malla de aberturas menores a las de esta, de manera que el Granos de neumáticos reciclados (GNR) no salga de la canastilla causando toma de datos erróneos.

Figura 123. Colocación del Granos de neumáticos reciclados (GNR) en la canastilla.

2. Se tomó el peso inicial de la canastilla con la malla en agua, para después colocar el material previamente pesado dentro de la canastilla y tomar el peso en agua. Dicho proceso fue realizado 3 veces con la finalidad de obtener datos más precisos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 124. *Pesaje de la canastilla con la malla.*

d) Toma de datos:

Tabla 116

Datos recolectados del ensayo de peso específico de Granos de neumáticos reciclados (GNR)

MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA SECA (A) Gr.	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (B) Gr.	PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (C) Gr.
1	1000	1004.8	80.9
2	1000	1003.7	79.4
3	1000	1003.5	79.6

Nota. Fuente: Propia.

3.5.5.3 Granulometría de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR).

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Tamizador mecánico.
- Tamices normalizadas ASTM con aberturas correspondientes.
- Balanza de precisión
- Brocha
- BPTR

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Preparación de la muestra:

El material fue obtenido en una planta de reciclaje de la ciudad de Lima.

Figura 125. Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR)

Para la preparación de la muestra según norma se extrae una muestra representativa.

Método de cuarteo: Se mezcla completamente todo el material con la ayuda de una pala para proceder al cuarteo y de esta manera obtener una muestra representativa del agregado.

c) Procedimiento:

1. Seleccionamos la serie de tamices adecuados, en este caso usaremos los tamices N°10, N°16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°200 Y Fondo.

2. Separamos el material para colocarlo en partes en la serie de tamices, de esta forma prevenimos la sobrecarga en tamices y así evitaremos llegar a un resultado erróneo.

Figura 126. Tamizado del BPTR.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3. Colocamos la serie de tamices en el tamizador mecánico por un periodo de 3 minutos.

4. Posteriormente se realiza el tamizado manual durante un minuto, de la siguiente forma: sostener individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo bien ajustado, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes; tal y como indica el MTC.

5. Extraemos el material retenido de cada tamiz con mucho cuidado evitando tener pérdidas de material con ayuda de una brocha.

6. Por último pesamos el material retenido por cada tamiz en una balanza de precisión.

d) Toma de datos:

Tabla 117

Datos recolectados del ensayo de granulometría del BPTR

TAMIZ ASTM	ABERTURA	PESO RETENIDO 1 Gr	PESO RETENIDO 2 Gr	PESO RETENIDO 3 Gr
1"	25.40	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00
Nº 8	2.36	15.80	12.40	11.80
Nº 10	2.00	64.30	68.50	66.50
Nº 16	1.18	46.90	44.50	46.10
Nº 30	0.60	88.70	84.20	84.60
Nº 40	0.42	32.20	33.80	37.90
Nº 50	0.30	22.50	24.70	21.40
Nº 80	0.18	15.40	17.60	18.10
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00
Nº 200	0.07	7.40	7.60	7.10
Fondo	-	3.50	3.20	3.90

Nota. Fuente: Propia.

3.5.5.4 Peso específico de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR).

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Balanza de flotación
- Canastilla de balanza de flotación
- BPTR
- Malla

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Preparación de la muestra:

1. Para realizar dicho ensayo se utilizo Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) previamente tamizado, retenido por la malla #8 debido a que por el tamano del mismo , no se perdera material al momento de pesar en agua.

2. Las BPTR previamente pesado fue sumergido en agua por un periodo de 24 horas , y posteriormente se seco superficialmente para poder realizar el ensayo.

c) Procedimiento:

1. Se procedió a forrar la canastilla con una malla de aberturas menores a las de esta, de manera que las Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) no salga de la canastilla causando toma de datos erróneos.

2. Se tomo el peso inicial de la canastilla con la malla en agua, para después colocar el material previamente pesado dentro de la canastilla y tomar el peso en agua. Dicho proceso fue realizado 3 veces con la finalidad de obtener datos más precisos.

Figura 127. Pesaje del BPTR.

d) Toma de datos:

Tabla 118

Datos recolectados del ensayo de peso específico del BPTR

MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA SECA (A) Gr.	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (B) Gr.	PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (C) Gr.
1	100	100	19.2
2	100	100	19
3	100	100	19.5

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.6 Preparación y ensayos en la Mezcla asfáltica caliente Convencional

3.5.6.1 Preparación de las muestras Marshall convencionales (MTC E 504)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Moldes de compactación
- Bowl
- Compactador automático Marshall
- Varilla
- Eyector de muestras de asfalto
- Horno
- Balanza
- Juego de tamices
- Termómetro
- Guantes
- Bandejas metálicas
- Espátula
- Papel filtro
- Cocina a gas

PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES MARSHALL

EQUIPOS Y MATERIALES

Moldes de Compactación

Varilla de Asfalto

Balanza de precisión

Termómetro

Cocina a gas

Eyector de muestras

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Compactador automático Marshall

Bowl de asfalto

Espatula

Disco y varilla de eyección de 4"

Papel filtro

Guantes

Figura 128. Equipos y materiales usados en la preparación de muestras Marshall.

b) Preparación de la muestra:

1. Se procedió a secar el agregado tanto fino como grueso.

2. Se separó por tamizado cada agregado, usando las mismas mallas que en la granulometría previamente realizada.

Figura 129. Separación por tamizado de todos los agregados.

3. Se calculó el porcentaje de participación de cada agregado (arena Cunyac, arena triturada de Morro Blanco, piedra chancada de Morro Blanco), considerando que la mezcla de agregados en función al porcentaje de participación, entre en la gráfica de la granulometría.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

4.Teniendo en cuenta también el porcentaje de peso retenido por tamiz que se realizó en la granulometría de cada material, se calculó el peso necesario de cada tamiz para realizar la elaboración de muestras de 1200 gramos.

5. Por último hallamos la cantidad de agregado que se usara en cada espécimen considerando también el porcentaje de asfalto incluido y filler.

6. Se pesó los agregados para cada espécimen, separándolas en bolsas para tenerlas listas.

Figura 130. Preparación de agregados según peso para el diseño de muestras.

Figura 131. Agregados separados por peso para preparación de muestras.

c) Procedimiento:

1. Se calentó el agregado y filler en el horno a una temperatura de 140°C junto a los moldes y base hasta obtener esta temperatura constante. Mientras se calentaba el asfalto en la cocina.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 132. Agregados y moldes en el horno y preparación del cemento asfáltico.

2. Se pesó el cemento asfaltico de acuerdo al porcentaje de asfalto de cada briqueta, inmediatamente se colocó el agregado en el bowl.

Figura 133. Cemento asfáltico según diseño.

3. Se mezcló el cemento asfaltico con los agregados hasta que estos estuvieran cubiertos en su totalidad y se agregó el filler. Durante todo el mezclado se revisa la temperatura debiendo esta estar en 140°C como máximo.

Figura 134. Mezclado del cemento asfáltico con el agregado grueso y fino.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 135. Mezclado del cemento asfaltico con el agregado grueso y fino, midiendo temperatura.

4. Se vertió la mezcla en el molde (previamente engrasado con gasolina) también usamos papel filtro colocado en los extremos para evitar que el material quede pegado.

Figura 136. Vertido de la mezcla en el molde.

5. Se usó la varilla alrededor de la briqueta 15 veces y al centro 15 veces y de esta forma eliminar los vacíos.

Figura 137. Chuseado de la mezcla con la varilla.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

6. Se colocó el martillo dentro del molde y se aplica el número de golpes según las especificaciones, en este caso 75 golpes.

7. Se retiró el martillo y se invirtió el molde para aplicar el mismo número de golpes en la cara opuesta.

Figura 138. Colocación del martillo sobre la muestra.

8. Terminada la compactación, se esperó a que los moldes se enfríen para luego extraer la muestra compactada en el eyector.

Figura 139. Extracción de la muestra.

9. Finalmente se dejó enfriar y se marcó cada muestra.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 140. Muestras convencionales.

3.5.6.2 Peso específico aparente y peso unitario de mezcla asfáltica compactada empleando muestras saturados con superficie seca (MTC E 514)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Balanza de flotación
- Franela
- Canastilla de flotación

PESO ESPECÍFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA EMPLEANDO ESPECÍMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA
EQUIPOS Y MATERIALES

Balanza de flotación | Franela | Canastilla de flotación

Figura 141. Equipos y materiales usados en el ensayo de peso específico de mezcla asfáltica compactada convencional.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Preparación de la muestra:

Usamos las muestras de mezcla asfáltica convencionales previamente hechas.

c) Procedimiento:

1. Se procedió a pesar la muestra seca.

Figura 142. Toma de datos del peso de cada muestra.

2. Se sumergió la muestra Marshall por un periodo de 5 minutos en baño maría a 25°C.

Figura 143. Temperatura del Baño María para sumersión de muestras

3. Pasado los 5 minutos se extrajo la muestra Marshall y se secó con una franela obteniendo luego el peso.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 144. Secado de muestras después de sumersión.

Figura 145. Toma de datos del peso de la muestra saturada con la superficie seca.

4. Se coloca el espécimen Marshall en la canastilla para obtener su peso en agua. Se toma el peso cuando la canastilla se estabilice y obtengamos un peso constante.

Figura 146. Toma de datos del peso en agua de la muestra Marshall.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

d) Toma de datos:

Tabla 119

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1177.10	1179.40	663.10
MUESTRA 2	1181.60	1184.40	665.80
MUESTRA 3	1184.40	1186.60	673.20
MUESTRA 4	1162.60	1166.10	650.00
MUESTRA 5	1174.70	1178.30	652.80

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 120

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1168.90	1171.20	657.50
MUESTRA 2	1182.60	1184.10	674.20
MUESTRA 3	1169.10	1170.70	662.20
MUESTRA 4	1157.30	1159.00	645.50
MUESTRA 5	1167.90	1168.10	664.90

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 121

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1188.80	1190.10	682.70
MUESTRA 2	1182.10	1185.00	677.20
MUESTRA 3	1174.70	1174.80	674.00
MUESTRA 4	1172.70	1173.70	659.90
MUESTRA 5	1171.10	1172.30	667.60

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 122

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1173.20	1173.50	677.50
MUESTRA 2	1177.80	1179.10	679.80
MUESTRA 3	1165.40	1166.80	673.00
MUESTRA 4	1161.30	1162.40	668.50
MUESTRA 5	1155.70	1156.40	661.20

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 123

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1162.10	1162.50	674.40
MUESTRA 2	1166.30	1166.80	676.60
MUESTRA 3	1167.70	1168.50	677.70
MUESTRA 4	1163.60	1164.40	669.30
MUESTRA 5	1176.30	1177.10	677.70

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 124

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1180.30	1180.60	682.70
MUESTRA 2	1175.80	1176.40	680.80
MUESTRA 3	1209.00	1209.40	700.80
MUESTRA 4	1252.30	1252.80	726.60
MUESTRA 5	1159.20	1159.90	669.30

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 125

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall convencionales al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1179.5	1179.9	682.7
MUESTRA 2	1162.3	1162.6	672.6
MUESTRA 3	1179.5	1180	682.7
MUESTRA 4	1145.3	1145.9	661.1
MUESTRA 5	1177.4	1177.9	681

Nota. Fuente: Propia.

3.5.6.3 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E 504)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Equipo de compresión Marshall
- Baño María
- Cabezal de rotura
- Termómetro
- Franela

Figura 147. Equipos y materiales usados en el ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Preparación de la muestra:

Usamos las muestras de mezcla asfáltica convencionales previamente hechas.

c) Procedimiento:

1. Como primer paso se tomó dos medidas de altura a cada espécimen Marshall.

2. Se procedió a calentar el agua de baño María a 60°C, se colocó las muestras Marshall uno a uno con el fin de que cada uno este sumergido por un tiempo de 30 minutos. Colocándolos cada 4 minutos (Tiempo que dura el ensayo por espécimen).

Figura 148. Sumersión de las muestras a 60°C.

3. Pasado los 30 minutos se extrajo el primer espécimen Marshall, se secó el exceso de agua con ayuda de una franela y se colocó inmediatamente en el cabezal de rotura.

Figura 149. Secado y colocación de la muestra Marshall en el cabezal de rotura.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

4. Se inicia con la rotura de la muestra y tomamos los datos de estabilidad y flujo.

Figura 150. Ensayo de Marshall.

Figura 151. Muestra terminado el ensayo.

5. Se sigue este procedimiento con todas otras las muestras de forma escalonada.

Figura 152. Muestras ensayadas.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

d) Toma de datos:

Tabla 126

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.200	6.400	6.300	6.300	6.300
MUESTRA 2	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500
MUESTRA 3	6.400	6.450	6.300	6.550	6.425
MUESTRA 4	6.300	6.200	6.250	6.250	6.250
MUESTRA 5	6.350	6.400	6.400	6.350	6.375

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 127

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.200	6.300	6.250	6.250	6.250
MUESTRA 2	6.450	6.350	6.350	6.450	6.400
MUESTRA 3	6.200	6.200	6.200	6.200	6.200
MUESTRA 4	6.300	6.300	6.350	6.250	6.300
MUESTRA 5	6.200	6.300	6.200	6.300	6.250

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 128

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.400	6.300	6.350	6.350	6.350
MUESTRA 2	6.100	6.200	6.200	6.100	6.150
MUESTRA 3	6.100	6.000	6.100	6.000	6.050
MUESTRA 4	6.350	6.400	6.350	6.400	6.375
MUESTRA 5	6.100	6.100	6.100	6.100	6.100

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 129

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.100	6.200	6.150	6.150	6.150
MUESTRA 2	6.250	6.200	6.250	6.200	6.225
MUESTRA 3	6.300	6.300	6.300	6.300	6.300
MUESTRA 4	6.150	6.250	6.200	6.200	6.200
MUESTRA 5	6.250	6.250	6.250	6.250	6.250

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 130

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350
MUESTRA 2	6.200	6.200	6.200	6.200	6.200
MUESTRA 3	6.250	6.250	6.200	6.300	6.250
MUESTRA 4	6.300	6.300	6.250	6.350	6.300
MUESTRA 5	6.150	6.200	6.150	6.200	6.175

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 131

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.100	6.100	6.050	6.150	6.100
MUESTRA 2	6.150	6.200	6.200	6.150	6.175
MUESTRA 3	6.300	6.350	6.300	6.350	6.325
MUESTRA 4	6.500	6.550	6.550	6.500	6.525
MUESTRA 5	6.250	6.200	6.200	6.250	6.225

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 132

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall convencionales al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.250	6.200	6.250	6.200	6.225
MUESTRA 2	6.150	6.100	6.150	6.100	6.125
MUESTRA 3	6.200	6.250	6.250	6.200	6.225
MUESTRA 4	6.000	5.950	6.050	5.900	5.975
MUESTRA 5	6.300	6.200	6.250	6.250	6.250

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 133

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 4% de cemento asfáltico -Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	2.829
MUESTRA 2	2.679
MUESTRA 3	2.881
MUESTRA 4	2.260
MUESTRA 5	2.364

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 134

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 4.5% de cemento asfáltico -Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	2.676
MUESTRA 2	2.749
MUESTRA 3	2.811
MUESTRA 4	2.586
MUESTRA 5	2.868

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 135

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 5% de cemento asfáltico -Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	3.526
MUESTRA 2	3.490
MUESTRA 3	2.523
MUESTRA 4	3.056
MUESTRA 5	3.755

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 136

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 5.5% de cemento asfáltico -Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	3.291
MUESTRA 2	3.976
MUESTRA 3	3.452
MUESTRA 4	3.396
MUESTRA 5	4.095

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 137

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 6% de cemento asfáltico -Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	4.285
MUESTRA 2	3.956
MUESTRA 3	4.116
MUESTRA 4	3.976
MUESTRA 5	3.898

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 138

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 6.5% de cemento asfáltico -Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	4.347
MUESTRA 2	4.382
MUESTRA 3	4.234
MUESTRA 4	4.453
MUESTRA 5	4.278

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 139

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 7% de cemento asfáltico -Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	5.501
MUESTRA 2	5.785
MUESTRA 3	5.623
MUESTRA 4	5.460
MUESTRA 5	6.982

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 140

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 4% de cemento asfáltico –Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1080.966
MUESTRA 2	1021.257
MUESTRA 3	1081.876
MUESTRA 4	821.513
MUESTRA 5	884.990

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 141

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 4.5% de cemento asfáltico –Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1016.285
MUESTRA 2	1136.607
MUESTRA 3	930.418
MUESTRA 4	1245.856
MUESTRA 5	1228.868

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 142

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 5% de cemento asfáltico –Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1248.711
MUESTRA 2	1316.932
MUESTRA 3	1242.096
MUESTRA 4	1248.600
MUESTRA 5	1119.670

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 143

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 5.5% de cemento asfáltico –Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1262.686
MUESTRA 2	1207.696
MUESTRA 3	1374.403
MUESTRA 4	1306.182
MUESTRA 5	1309.324

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 144

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 6% de cemento asfáltico –Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1519.527
MUESTRA 2	1142.012
MUESTRA 3	1343.062
MUESTRA 4	1486.005
MUESTRA 5	1154.361

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 145

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 6.5% de cemento asfáltico –Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1146.902
MUESTRA 2	1247.967
MUESTRA 3	1523.992
MUESTRA 4	1427.325
MUESTRA 5	1143.421

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 146

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras convencionales al 7% de cemento asfáltico –Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1232.504
MUESTRA 2	1114.164
MUESTRA 3	1075.708
MUESTRA 4	1187.198
MUESTRA 5	1324.788

Nota. Fuente: Propia.

3.5.6.4 Resistencia de mezclas asfálticas convencionales compactadas al daño inducido por humedad

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Moldes Marshall
- Eyector de muestras
- Canastilla de flotación

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

- Balanza de flotación
- Vernier
- Baño María
- Equipo de compresión Marshall
- Cabezal de rotura diametral
- Termómetro
- Horno eléctrico
- Congelador

RESISTENCIA CONSERVADA EN LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA
EQUIPOS Y MATERIALES

Moldes de Compactación

Eyector de muestras

Canastilla de flotación

Balanza

Vernier

Baño Maria

Equipo de Compresión Marshall

Termómetro

Cabezal de Rotura Diametral

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Cocina a gas

Congelador

Figura 153. Equipos y materiales usados en el ensayo de resistencia de mezclas asfálticas convencionales compactadas al daño inducido por humedad.

b) Preparación de la muestra:

1. Teniendo ya el contenido óptimo de asfalto de la muestra convencional, se pesó los agregados (gruesos y finos) pertenecientes a dicho espécimen.

c) Procedimiento:

1. Se procedió a preparar cada uno de las 6 muestras convencionales, la mitad será ensayado en seco y la otra mitad será ensayado posterior a la saturación parcial y acondicionamiento húmedo con un ciclo de congelamiento.

2. Después de mezclar, cada mezcla fue colocada en una bandeja con una profundidad de 25 mm que fue enfriada a temperatura ambiente por 2 ± 0.5 horas, después fue llevada al horno a 60 ± 3°C por un tiempo de 16 ± 1 horas para el curado.

Figura 154. Vertido de la mezcla asfáltica convencional en la bandeja.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 155. Bandejas con mezcla asfáltica convencional.

3. Posterior el curado se colocó la muestra en un horno a temperatura de compactación (140 ± 3°C) para su debida compactación. Después de remover los moldes, las muestras deben ser almacenados a temperatura ambiente por 24 ± 3 horas.

Figura 156. Colocado de la muestra en el horno a 140°C para el curado.

Figura 157. Compactado de mezcla asfáltica convencional.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

4. Se divide las muestras en dos grupos:

Especímenes ensayados en seco:

5.Las 3 muestras fueron cubiertos con plástico o bolsas a prueba de goteo para colocarlos en baño María a 25 ± 0.5 °C por un tiempo de 2 horas ± 10 minutos teniendo como mínimo 25 mm de agua por encima de cada espécimen.

6. Se removió las muestras y el plástico, se determinó su espesor (h) y se colocó cada espécimen entre las dos placas de apoyo de la máquina de ensayo. Se aplicó la carga a los muestras por medio de una razón constante de movimiento del cabezal a 50 mm por minuto.

7. Se registró el esfuerzo a compresión máximo obtenido, se continuó cargando hasta que se presentó una fisura vertical, se abrió el espécimen por dicha fisura y se inspecciono el interior para observar si existen agregados fracturados, estimamos el daño por humedad visualmente en una escala del 0 al 5 (tomando 5 al mayor desprendimiento),

Especímenes ensayados posterior a la saturación parcial y acondicionamiento húmedo con un ciclo de congelamiento:

8. Se sumergió las 3 muestras en agua potable a 25 mm por encima, por un tiempo entre 5 a 10 minutos.

Figura 158. Sumersión de muestras en agua potable.

9. Se cubrió las muestras saturadas con una cubierta plástica que contenta 10 ± 0.5 mil de agua y se selló la bolsa. Para colocarlos en la congeladora a una temperatura de -18 ± 3 °C por un mínimo de 16 horas.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 159. Muestras dentro de una cubierta plástica.

Figura 160. Muestras puestas en la congeladora.

10. Pasado el tiempo establecido se llevó las muestras a Baño María a 60 ± 1 °C por un tiempo de 24 ± 1 horas (teniendo en cuenta que el agua debe estar 25 mm sobre el espécimen como mínimo)

Figura 161. Muestras puestas en baño María a 60 °C.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

11. Después de dicho periodo se removió las muestras y se colocó en Baño María a 25 ± 0.5 °C por un tiempo de 2 horas ± 10 minutos (Teniendo en cuenta que el agua debe estar 25 mm sobre el espécimen como mínimo).

Figura 162. Muestras en baño María.

12. Se removió las muestras y el plástico, se determinó su espesor (h) y se colocó cada espécimen entre las dos placas de apoyo de la máquina de ensayo. Se aplicó la carga a las muestras por medio de una razón constante de movimiento del cabezal a 50 mm por minuto.

*Figura 163.*Medición de muestras.

13. Se registró el esfuerzo a compresión máximo obtenido, se continuó cargando hasta que se presentó una fisura vertical, se abrió el espécimen por dicha fisura y se inspecciono el interior para observar si existen agregados fracturados, estimamos el daño por humedad visualmente en una escala del 0 al 5 (tomando 5 al mayor desprendimiento),

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 164. Ensayo de tracción indirecta.

d) Toma de datos:

Tabla 147

Alturas promedio de muestras asfálticas convencionales al 5.23% de asfalto en condición seca

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 mm	ALTURA 2 mm	ALTURA 3 mm	ALTURA 4 mm	ALTURA PROMEDIO mm
MUESTRA 1	63	63	63	63	63.00
MUESTRA 2	63	63.5	63	63	63.13
MUESTRA 3	62	62	62	62.5	62.13

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 148

Diámetros promedio de muestras asfálticas convencionales al 5.23% de asfalto en condición seca

NÚMERO DE MUESTRA	DIÁMETRO 1 mm	DIÁMETRO 2 mm	DIÁMETRO 3 mm	DIÁMETRO 4 mm	DIÁMETRO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	102	101.5	102.2	102.2	101.98
MUESTRA 2	102.2	101	102.2	102	101.85
MUESTRA 3	103	103	103.5	103	103.13

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 149

Alturas promedio de muestras asfálticas convencionales al 5.23% de asfalto en condición saturada

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 mm	ALTURA 2 mm	ALTURA 3 mm	ALTURA 4 mm	ALTURA PROMEDIO mm
MUESTRA 1	64	65	65	65	64.75
MUESTRA 2	63	62.5	63	63	62.88
MUESTRA 3	62	63	63	63	62.75

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 150

Diámetros promedio de muestras asfálticas convencionales al 5.23% de asfalto en condición saturada

NÚMERO DE MUESTRA	DIÁMETRO 1 mm	DIÁMETRO 2 mm	DIÁMETRO 3 mm	DIÁMETRO 4 mm	DIÁMETRO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	101	101	102	101.5	101.38
MUESTRA 2	102	102	102	102	102.00
MUESTRA 3	103	102	102	103	102.50

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 151

Carga de rotura máxima de mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto en condición seca

NÚMERO DE MUESTRA	CARGA DE ROTURA Kg	CARGA DE ROTURA N
MUESTRA 1	819.397	8038.28
MUESTRA 2	896.674	8796.37
MUESTRA 3	855.328	8390.77

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 152

Carga de rotura máxima de mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto en condición saturada

NÚMERO DE MUESTRA	CARGA DE ROTURA Kg	CARGA DE ROTURA N
MUESTRA 1	719.836	7061.59
MUESTRA 2	691.059	6779.29
MUESTRA 3	712.617	6990.77

Nota. Fuente: Propia.

3.5.6.5 Ensayo de Rueda de Hamburgo

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Equipo de laboratorio Hamburg Wheel-Track
- Compactador giratorio SUPERPAVE

b) Preparación de la muestra:

1.Se prepara los agregados para la mezcla asfaltica convencional y adicionada de acuerdo al diseño (Tomando en cuenta porcentajes optimo de asfalto y de adicionantes) .

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.Se procedio a realizar la mezcla asfáltica para luego realizar la compactacion de dicha mezcla utilizando el compactador giratorio SUPERPAVE. Dichos especimenes tienen 6” de diámetro y 2” de altura cada una. Denominamos A y B para la mezcla asfáltica convencional y 1 y 2 para la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR.

Dicha compactacion nos brinda la capacidad de controlar las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica, se realiza a una presión de 600 pascales ,un grado de inclinacion de 20.20 radianes y con un porcentaje de vacios que debe oscilar entre 6% y 8%.

*Dicha compactación utilizando el compactador SUPERPAVE fue realizada en laboratorios TDM asfaltos ubicada en la ciudad de Lima. Usando agregados de la misma cantera, mismo cemento asfáltico y adicionantes.

Figura 165. Material enviado a TDM asfaltos.

c) Procedimiento:

1.Posterior a la obtención de cuerpos de prueba (con una totalidad de 4 , 2 para cada tipo) se procedio a colocarlos en la maquina de la rueda de hamburgo, la cual se somete a 20000 pasadas según establece la norma, se sumerge en agua a una temperatura de 50°C.

Figura 166. Muestras convencionales compactadas por el compactador giratorio.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 167. Ensayo de rueda de Hamburgo.

2.Terminando los 20000 ciclos se procede al analisis de datos observando el ahuellamiento de cada par de especimenes.

Figura 168. Muestras convencionales ensayadas en el equipo de Rueda de Hamburgo.

d) Toma de datos:

Tabla 153

Datos recolectados del ensayo de Rueda de Hamburgo para muestras convencionales

DATOS DEL ENSAYO	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CA: 5.23%
TIPO DE MUESTRA	Doble núcleo
DIÁMETRO	150 mm
ESPESOR	60 mm
TEMPERATURA	50ºC
NÚMERO DE PASADAS	17380pasadas
PROFUNDIDAD DE HUELLA	12.50 mm

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.7 Preparación y ensayos en la Mezcla asfáltica Adicionada

3.5.7.1 Elaboración de briquetas adicionadas (MTC E 504)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Moldes de compactación
- Bowl
- Compactador automático Marshall
- Varilla
- Eyector de muestras de asfalto
- Horno
- Balanza
- Juego de tamices
- Termómetro
- Guantes
- Bandejas metálicas
- Espátula
- Hojas de papel
- Cocina a gas
- Materiales adicionantes (Granos de neumáticos reciclados y Botellas de plástico trituradas recicladas)

b) Preparación de la muestra:

1. Se procedió a secar el agregado tanto fino como grueso.

2. Se separó por tamizado cada agregado, usando las mismas mallas que en la granulometría previamente realizada.

3. Se calculó el porcentaje de participación de cada agregado (arena Cunyac, arena triturada de Morro Blanco, piedra chancada de Morro Blanco), considerando que la mezcla de agregados en función al porcentaje de participación, entre en la gráfica de la granulometría.

4. Teniendo en cuenta también el porcentaje de peso retenido por tamiz que se realizó en la granulometría de cada material, se calculó el peso necesario de cada tamiz para realizar la elaboración de muestras de 1200 gramos.

5. Por último hallamos la cantidad de agregado que se usara en cada espécimen considerando también porcentaje óptimo de asfalto incluido, filler y los adicionates en distintos porcentajes.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 169. Adicionantes a la mezcla asfáltica, GNR y BPTR respectivamente.

6. Se pesó los agregados para cada espécimen, separándolas en bolsas para tenerlas listas al igual que los adicionantes.

Figura 170. Adicionantes pesados en los 7 diferentes porcentajes de adición.

c) Procedimiento:

1. Se calentó el agregado y filler en el horno a una temperatura de 140°C junto a los moldes y base hasta obtener esta temperatura constante. Mientras se calentaba el asfalto en la cocina.

2. Se pesó el cemento asfaltico de acuerdo al %, inmediatamente se colocó el agregado en el bowl.

3. Se mezcló el cemento asfaltico con los agregados hasta que estos estuvieran cubiertos en su totalidad y se agregó el filler. Durante todo el mezclado se revisa la temperatura debiendo esta estar en 140°C como máximo.

4. Se agregaron los adicionantes en la mezcla y se mezcló hasta que la mezcla sea homogénea.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 171. Incorporación de los adicionantes en la mezcla asfáltica.

5. Se vertió la mezcla en el molde (previamente engrasado con gasolina) también usamos hojas de papel engrasada en los extremos para evitar que el material quede pegado.

Figura 172. Vertido de la mezcla en el molde.

6. Se usó la varilla alrededor de la briqueta 15 veces y al centro 15 veces y de esta forma eliminar los vacíos.

Figura 173. Eliminación de vacíos usando una varilla previa compactación.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

7. Se colocó el martillo dentro del molde y se aplica el número de golpes según las especificaciones, en este caso 75 golpes.

Figura 174. Compactación de mezcla asfáltica adicionada.

8. Se retiró el martillo y se invirtió el molde para aplicar el mismo número de golpes en la cara opuesta.

9. Terminada la compactación, se esperó a que los moldes se enfríen para luego extraer la muestra compactada en el eyector.

Figura 175. Extracción de espécimen.

10. Finalmente se dejó enfriar y se marcó cada espécimen.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.7.2 Peso específico aparente de mezcla asfáltica compactada empleando muestras saturados con superficie seca (MTC E 514)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Balanza de flotación
- Franela
- Canastilla de flotación

b) Preparación de la muestra:

Usamos las muestras de mezcla asfáltica adicionada previamente hechas.

c) Procedimiento:

1. Se procedió a pesar y medir el espécimen seco.

Figura 176. Pesaje de muestras asfálticas modificadas.

Figura 177. Toma de medidas de muestras asfáltica adicionada.

2. Se sumergió el espécimen Marshall por un periodo de 5 minutos en baño maría a 25°C.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 178. Toma de temperatura del agua.

3. Pasado los 5 minutos se extrajo el espécimen Marshall y se secó con una franela obteniendo luego el peso.

4. Se coloca el espécimen Marshall en la canastilla para obtener su peso en agua. Se toma el peso cuando la canastilla se estabilice y obtengamos un peso constante.

d) Toma de datos:

Tabla 154

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.2%

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1170.000	1172.400	670.700
MUESTRA 2	1172.500	1174.100	671.400
MUESTRA 3	1173.300	1175.500	672.600
MUESTRA 4	1172.200	1174.500	671.700
MUESTRA 5	1171.100	1173.400	672.000
MUESTRA 6	1176.200	1178.000	671.800
MUESTRA 7	1179.300	1181.500	675.500

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 155

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.5%

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1181.000	1183.200	674.200
MUESTRA 2	1172.800	1175.500	672.400
MUESTRA 3	1177.700	1179.100	673.100
MUESTRA 4	1176.600	1178.100	672.100
MUESTRA 5	1177.700	1179.500	673.700
MUESTRA 6	1179.300	1181.000	673.100
MUESTRA 7	1182.200	1184.400	674.400

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 156

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.8%

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1172.500	1174.100	670.100
MUESTRA 2	1175.800	1178.100	672.000
MUESTRA 3	1174.000	1176.400	670.500
MUESTRA 4	1173.500	1175.400	668.100
MUESTRA 5	1170.200	1172.800	669.400
MUESTRA 6	1172.900	1175.600	670.300
MUESTRA 7	1175.900	1178.900	669.200

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 157

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1%

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1179.100	1181.800	674.300
MUESTRA 2	1180.300	1182.100	672.000
MUESTRA 3	1183.900	1186.200	674.200
MUESTRA 4	1181.600	1183.500	673.100
MUESTRA 5	1184.300	1186.800	672.400
MUESTRA 6	1176.500	1178.700	672.300
MUESTRA 7	1181.200	1183.000	673.200

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 158

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1.4%

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1178.400	1180.600	671.400
MUESTRA 2	1180.200	1183.500	669.100
MUESTRA 3	1171.600	1173.300	668.300
MUESTRA 4	1176.600	1179.900	669.500
MUESTRA 5	1172.900	1174.300	669.900
MUESTRA 6	1172.400	1174.800	668.600
MUESTRA 7	1179.700	1182.200	670.800

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 159

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1.7%

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1179.200	1182.500	671.800
MUESTRA 2	1186.000	1188.000	671.600
MUESTRA 3	1182.400	1184.300	672.600
MUESTRA 4	1185.600	1187.900	673.000
MUESTRA 5	1184.800	1186.700	672.700
MUESTRA 6	1182.800	1184.100	672.300
MUESTRA 7	1184.600	1187.900	674.500

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 160

Datos recolectados del ensayo de peso específico aparente de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 2%

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)
MUESTRA 1	1180.500	1183.800	673.700
MUESTRA 2	1175.700	1178.200	668.100
MUESTRA 3	1183.500	1186.800	672.100
MUESTRA 4	1182.600	1185.200	669.500
MUESTRA 5	1176.600	1178.400	669.400
MUESTRA 6	1180.800	1183.700	670.300
MUESTRA 7	1176.100	1178.800	668.800

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.7.3 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E 504)

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Equipo de compresión Marshall
- Baño María
- Cabezal de rotura
- Termómetro
- Franela
- Guantes
- Vernier

b) Preparación de la muestra:

1. Como primer paso tomamos dos medidas de altura a cada espécimen Marshall.

2. Se procedió a calentar el agua de baño María a 60°C, se colocó las muestras Marshall uno a uno con el fin de que cada uno este sumergido por un tiempo de 30 minutos. Colocándolos cada 4 minutos (Tiempo que dura el ensayo por espécimen).

Figura 179. Toma de temperatura del baño maría.

c) Procedimiento:

1. Pasado los 30 minutos se extrajo el primer espécimen Marshall, se secó el exceso de agua con ayuda de una franela y se colocó inmediatamente en el cabezal de rotura.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 180. Secado de la muestra asfáltica adicionada.

Figura 181. Colocado de la muestra en el aparato Marshall.

2. Se inició con la rotura de la muestra y tomamos los datos de estabilidad y flujo.

Figura 182. Realización de ensayo de rotura de briquetas con el aparato Marshall.

3. Se sigue este procedimiento con todas las otras muestras de forma escalonada.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

d) Toma de datos:

Tabla 161

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.2%

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.200	6.300	6.200	6.250	6.238
MUESTRA 2	6.300	6.250	6.300	6.250	6.275
MUESTRA 3	6.300	6.400	6.350	6.300	6.338
MUESTRA 4	6.250	6.300	6.250	6.200	6.250
MUESTRA 5	6.350	6.350	6.300	6.300	6.325
MUESTRA 6	6.250	6.300	6.250	6.300	6.275
MUESTRA 7	6.200	6.250	6.250	6.250	6.238

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 162

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.5%

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.200	6.300	6.300	6.250	6.263
MUESTRA 2	6.250	6.200	6.300	6.250	6.250
MUESTRA 3	6.300	6.300	6.300	6.300	6.300
MUESTRA 4	6.300	6.350	6.300	6.250	6.300
MUESTRA 5	6.250	6.250	6.300	6.250	6.263
MUESTRA 6	6.250	6.300	6.300	6.300	6.288
MUESTRA 7	6.200	6.250	6.300	6.300	6.263

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 163

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 0.8%

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.350	6.400	6.300	6.300	6.338
MUESTRA 2	6.200	6.300	6.300	6.250	6.263
MUESTRA 3	6.300	6.200	6.300	6.300	6.275
MUESTRA 4	6.350	6.400	6.400	6.300	6.363
MUESTRA 5	6.250	6.350	6.350	6.250	6.300
MUESTRA 6	6.300	6.350	6.300	6.300	6.313
MUESTRA 7	6.350	6.300	6.300	6.300	6.313

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 164

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1%

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.450	6.450	6.450	6.350	6.425
MUESTRA 2	6.500	6.400	6.400	6.450	6.438
MUESTRA 3	6.500	6.400	6.400	6.300	6.400
MUESTRA 4	6.450	6.500	6.450	6.450	6.463
MUESTRA 5	6.400	6.400	6.450	6.400	6.413
MUESTRA 6	6.450	6.450	6.400	6.400	6.425
MUESTRA 7	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 165

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1.4%

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.300	6.350	6.350	6.350	6.338
MUESTRA 2	6.300	6.300	6.250	6.250	6.275
MUESTRA 3	6.300	6.250	6.300	6.400	6.313
MUESTRA 4	6.350	6.300	6.300	6.300	6.313
MUESTRA 5	6.300	6.300	6.250	6.300	6.288
MUESTRA 6	6.250	6.300	6.250	6.300	6.275
MUESTRA 7	6.350	6.350	6.350	6.300	6.338

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 166

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 1.7%

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.450	6.450	6.400	6.350	6.413
MUESTRA 2	6.450	6.450	6.500	6.450	6.463
MUESTRA 3	6.450	6.500	6.500	6.450	6.475
MUESTRA 4	6.500	6.400	6.500	6.500	6.475
MUESTRA 5	6.450	6.450	6.500	6.500	6.475
MUESTRA 6	6.500	6.450	6.400	6.400	6.438
MUESTRA 7	6.450	6.400	6.450	6.500	6.450

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 167

Datos recolectados de la medición de muestras Marshall adicionadas con BPTR y GNR al 2%

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 Cm	ALTURA 2 Cm	ALTURA 3 Cm	ALTURA 4 Cm	ALTURA PROMEDIO Cm
MUESTRA 1	6.600	6.700	6.700	6.700	6.675
MUESTRA 2	6.700	6.600	6.700	6.700	6.675
MUESTRA 3	6.600	6.500	6.600	6.600	6.575
MUESTRA 4	6.500	6.600	6.650	6.600	6.588
MUESTRA 5	6.600	6.500	6.550	6.550	6.550
MUESTRA 6	6.650	6.700	6.550	6.550	6.613
MUESTRA 7	6.600	6.550	6.600	6.600	6.588

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 168

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.2% - Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	3.232
MUESTRA 2	4.059
MUESTRA 3	3.248
MUESTRA 4	3.127
MUESTRA 5	3.512
MUESTRA 6	3.145
MUESTRA 7	3.098

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 169

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.5% - Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	3.120
MUESTRA 2	3.291
MUESTRA 3	3.120
MUESTRA 4	3.143
MUESTRA 5	4.041
MUESTRA 6	3.212
MUESTRA 7	3.780

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 170

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.8% - Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	3.161
MUESTRA 2	3.391
MUESTRA 3	4.067
MUESTRA 4	3.257
MUESTRA 5	3.473
MUESTRA 6	3.198
MUESTRA 7	3.491

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 171

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1% - Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	3.701
MUESTRA 2	3.351
MUESTRA 3	3.187
MUESTRA 4	4.054
MUESTRA 5	3.012
MUESTRA 6	3.384
MUESTRA 7	4.048

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 172

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1.4% - Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	3.427
MUESTRA 2	3.735
MUESTRA 3	3.164
MUESTRA 4	4.048
MUESTRA 5	3.914
MUESTRA 6	3.342
MUESTRA 7	4.178

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 173

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1.7% - Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	4.794
MUESTRA 2	3.754
MUESTRA 3	3.850
MUESTRA 4	4.096
MUESTRA 5	4.054
MUESTRA 6	3.794
MUESTRA 7	3.756

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 174

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 2% - Flujo

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm
MUESTRA 1	4.389
MUESTRA 2	4.399
MUESTRA 3	3.912
MUESTRA 4	4.580
MUESTRA 5	4.344
MUESTRA 6	4.048
MUESTRA 7	4.375

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 175

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.2% - Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1095.632
MUESTRA 2	1438.813
MUESTRA 3	1190.592
MUESTRA 4	1471.530
MUESTRA 5	1347.647
MUESTRA 6	1254.361
MUESTRA 7	1174.844

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 176

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.5% - Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1256.374
MUESTRA 2	1210.287
MUESTRA 3	1398.033
MUESTRA 4	1254.760
MUESTRA 5	1281.750
MUESTRA 6	1018.940
MUESTRA 7	1279.250

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 177

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 0.8% - Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1082.817
MUESTRA 2	1285.940
MUESTRA 3	1425.456
MUESTRA 4	1296.351
MUESTRA 5	1492.961
MUESTRA 6	1184.740
MUESTRA 7	1493.805

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 178

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1% - Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1525.940
MUESTRA 2	1501.720
MUESTRA 3	1505.700
MUESTRA 4	1185.700
MUESTRA 5	1421.944
MUESTRA 6	1278.631
MUESTRA 7	1510.945

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 179

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1.4% - Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1281.894
MUESTRA 2	1561.350
MUESTRA 3	1266.103
MUESTRA 4	1044.750
MUESTRA 5	1495.847
MUESTRA 6	1264.840
MUESTRA 7	1184.541

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 180

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 1.7% - Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	1304.596
MUESTRA 2	1119.781
MUESTRA 3	972.491
MUESTRA 4	1184.561
MUESTRA 5	1471.890
MUESTRA 6	1345.630
MUESTRA 7	897.650

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 181

Datos recolectados del ensayo Marshall de muestras adicionadas con BPTR y GNR al 2% - Estabilidad

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg
MUESTRA 1	865.394
MUESTRA 2	1053.164
MUESTRA 3	1346.324
MUESTRA 4	960.797
MUESTRA 5	1126.500
MUESTRA 6	997.621
MUESTRA 7	898.704

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.5.7.4 Resistencia de mezclas asfálticas adicionadas compactadas al daño inducido por humedad

a) Equipos utilizados en la prueba:

• Moldes Marshall

• Eyector de muestras

• Canastilla de flotación

• Balanza de flotación

• Vernier

• Baño María

• Equipo de compresión Marshall

• Cabezal de rotura diametral

• Termómetro

• Horno eléctrico

• Congelador

b) Preparación de la muestra:

1. Teniendo ya el contenido óptimo de asfalto de la muestra adicionada, se pesó los agregados (gruesos y finos) pertenecientes a dicho espécimen.

Figura 183. Pesaje de agregados usados en la mezcla asfáltica adicionada.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

c) Procedimiento:

1. Se procedió a preparar cada uno de las 6 muestras adicionadas, la mitad será ensayado en seco y la otra mitad será ensayado posterior a la saturación parcial y acondicionamiento húmedo con un ciclo de congelamiento.

2. Después de mezclar, cada mezcla fue colocada en una bandeja con una profundidad de 25 mm que fue enfriada a temperatura ambiente por 2 ± 0.5 horas, después fue llevada al horno a 60 ± 3°C por un tiempo de 16 ± 1 horas para el curado.

Figura 184. Bandejas con mezcla asfáltica adicionada para el curado.

3. Posterior el curado se colocó la muestra en un horno a temperatura de compactación (140 ± 3°C) para su debida compactación. Después de remover los moldes, las muestras deben ser almacenados a temperatura ambiente por 24 ± 3 horas.

Figura 185. Vertido de mezcla para la posterior compactación.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 186. Compactación de la muestra asfáltica adicionada.

4. Se divide las muestras en dos grupos:

Especímenes ensayados en seco:

5.Las 3 muestras fueron cubiertas con plástico o bolsas a prueba de goteo para colocarlos en baño María a 25 ± 0.5 °C por un tiempo de 2 horas ± 10 minutos teniendo como mínimo 25 mm de agua por encima de cada espécimen.

6. Se removió las muestras y el plástico, se determinó su espesor (h) y se colocó cada espécimen entre las dos placas de apoyo de la máquina de ensayo. Se aplicó la carga a las muestras por medio de una razón constante de movimiento del cabezal a 50 mm por minuto.

7. Se registró el esfuerzo a compresión máximo obtenido, se continuó cargando hasta que se presentó una fisura vertical, se abrió el espécimen por dicha fisura y se inspecciono el interior para observar si existen agregados fracturados, estimamos el daño por humedad visualmente en una escala del 0 al 5 (tomando 5 al mayor desprendimiento),

Especímenes ensayados posterior a la saturación parcial y acondicionamiento húmedo con un ciclo de congelamiento:

8. Se sumergió las 3 muestras en agua potable a 25 mm por encima, por un tiempo entre 5 a 10 minutos.

9. Se cubrió las muestras saturados con una cubierta plástica que contenta 10 ± 0.5 mil de agua y se selló la bolsa. Para colocarlos en la congeladora a una temperatura de -18 ± 3 °C por un mínimo de 16 horas.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 187. Muestras asfálticas adicionadas sometidas al congelamiento.

10. Pasado el tiempo establecido se llevó las muestras a Baño María a 60 ± 1 °C por un tiempo de 24 ± 1 horas (teniendo en cuenta que el agua debe estar 25 mm sobre la muestra muestra como mínimo)

Figura 188. Muestras puestas en baño María.

11. Después de dicho periodo se removió las muestras y se colocó en Baño María a 25 ± 0.5 °C por un tiempo de 2 horas ± 10 minutos (Teniendo en cuenta que el agua debe estar 25 mm sobre el espécimen como mínimo).

12. Se removió las muestras y el plástico, se determinó su espesor (h) y se colocó cada espécimen entre las dos placas de apoyo de la máquina de ensayo. Se aplicó la carga a las muestras por medio de una razón constante de movimiento del cabezal a 50 mm por minuto.

13. Se registró el esfuerzo a compresión máximo obtenido, se continuó cargando hasta que se presentó una fisura vertical, se abrió el espécimen por dicha fisura y se inspecciono el interior para observar si existen agregados fracturados, estimamos el daño por humedad visualmente en una escala del 0 al 5 (tomando 5 al mayor desprendimiento),

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

d) Toma de datos:

Tabla 182

Alturas promedio de muestras asfálticas al 5.23% de asfalto y 0.80% de BPTR y GNR en condición seca

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 mm	ALTURA 2 mm	ALTURA 3 mm	ALTURA 4 mm	ALTURA PROMEDIO mm
MUESTRA 1	65	65.5	65	65	65.13
MUESTRA 2	65	65.5	65	64.5	65.00
MUESTRA 3	65	65.5	65	64.5	65.00

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 183

Diámetros promedio de muestras asfálticas al 5.23% de asfalto y 0.80% de BPTR y GNR en condición seca

NÚMERO DE MUESTRA	DIÁMETRO 1 mm	DIÁMETRO 2 mm	DIÁMETRO 3 mm	DIÁMETRO 4 mm	DIÁMETRO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	102	102	102.5	102	102.13
MUESTRA 2	103	102.5	103	103.5	103.00
MUESTRA 3	101	102	101.5	102	101.63

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 184

Alturas promedio de muestras asfálticas al 5.23% de asfalto y 0.80% de BPTR y GNR en condición saturada

NÚMERO DE MUESTRA	ALTURA 1 mm	ALTURA 2 mm	ALTURA 3 mm	ALTURA 4 mm	ALTURA PROMEDIO mm
MUESTRA 1	66	65	65	64.5	65.13
MUESTRA 2	66	66	66	66	66.00
MUESTRA 3	61	62	61	62	61.50

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 185

Diámetros promedio de muestras asfálticas al 5.23% de asfalto y 0.80% de BPTR y GNR en condición saturada

NÚMERO DE MUESTRA	DIÁMETRO 1 mm	DIÁMETRO 2 mm	DIÁMETRO 3 mm	DIÁMETRO 4 mm	DIÁMETRO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	102	102	102.5	102	102.13
MUESTRA 2	102	102	102	102	102.00
MUESTRA 3	103.5	104	104	104	103.88

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 186

Carga de rotura máxima de mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto y 0.8% de BPTR y GNR en condición seca

NÚMERO DE MUESTRA	CARGA DE ROTURA Kg	CARGA DE ROTURA N
MUESTRA 1	915.334	8979.43
MUESTRA 2	928.567	9109.24
MUESTRA 3	861.295	8449.30

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 187

Carga de rotura máxima de mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto y 0.8% de BPTR y GNR en condición saturada

NÚMERO DE MUESTRA	CARGA DE ROTURA Kg	CARGA DE ROTURA N
MUESTRA 1	753.425	7391.10
MUESTRA 2	788.412	7734.32
MUESTRA 3	718.963	7053.03

Nota. Fuente: Propia.

3.5.7.5 Ensayo de Rueda de Hamburgo

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Equipo de laboratorio Hamburg Wheel-Track
- Compactador giratorio SUPERPAVE

b) Preparación de la muestra:

1.Se prepara los agregados para la mezcla asfaltica convencional y adicionada de acuerdo al diseño (Tomando en cuenta porcentajes optimo de asfalto y de adicionantes) .

2.Se procedió a realizar la mezcla asfaltica para luego realizar la compactación de dicha mezcla utilizando el compactador giratorio SUPERPAVE. Dichos especimenes tienen 6” de diametro y 2” de altura cada una. Denominamos A y B para la mezcla asfaltica convencional y 1 y 2 para la mezcla asfaltica adicionada con BPTR y GNR.

Dicha compactacion nos brinda la capacidad de controlar las propiedades volumetricas de la mezcla asfaltica ,se realiza a una presión de 600 kPa ,un grado de inclinación de 1.25° y vacios entre 6% y 8%.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Dicha compactación utilizando el compactador SUPERPAVE fue realizada en laboratorios TDM asfaltos ubicada en la ciudad de Lima.Usando agregados de la misma cantera, mismo cemento asfáltico y adicionantes.

c) Procedimiento:

1.Posterior a la obtencion de cuerpos de prueba (con una totalidad de 4 , 2 para cada tipo) se procedio a colocarlos en la máquina de la rueda de hamburgo, la cual se somete a 20000 pasadas según establece la norma, se sumerge en agua a una temperatura de 50°C.

Figura 189. Muestras adicionadas compactadas por el compactador giratorio.

Figura 190. Ensayo de rueda de Hamburgo.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2.Terminando los 20000 ciclos se procede al analisis de datos observando el ahuellamiento de cada par de especimenes.

Figura 191. Muestras adicionadas ensayadas en el equipo de Rueda de Hamburgo.

d) Toma de datos:

Tabla 188
Datos recolectados del ensayo de Rueda de Hamburgo para muestras adicionadas

DATOS DEL ENSAYO	**MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA** **CA: 5.23%** **BPTR Y GNR:0.80%**
TIPO DE MUESTRA	Doble núcleo
DIÁMETRO	150 mm
ESPESOR	60 mm
TEMPERATURA	50ºC
NÚMERO DE PASADAS	17380pasadas
PROFUNDIDAD DE HUELLA	9.07mm

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6 Procedimientos de Análisis de datos

3.6.1 Control de calidad de los Agregados gruesos

3.6.1.1 Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204)

a) Cálculos del ensayo

El procesamiento del ensayo de granulometría de agregado grueso de Morro Blanco, consiste en calcular los porcentajes que pasa en cada una de las mallas las cuales se determinaron por la gradación de la ASTM D 3515 (huso 5) y MAC-2. Debiendo cumplir con los parámetros establecidos.

Tabla 189

Husos granulométricos según el tamaño máximo nominal.

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	9-15
75 µm (N.° 200)	4-8	4-8	5-10

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

Tabla 190

Husos granulométricos según el tamaño máximo nominal-Diseño Superpave

Tamaño estándar (mm)	Puntos de Control				
	Tamaño máximo Nominal				
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm
50.0					100
37.5				100	90-100
25.0			100	90-100	
19.0		100	90-100		
12.5	100	90-100			
9.50	90-100				
2.36	32-67	28-58	23-49	19-45	15-41
0.075	2.0-10.0	2.0-10.0	2.0-8.0	1.0-7.0	0.0-6.0
Tamiz	Zona Restringida				
4.75				39.5	34.7
2.36	47.2	39.1	34.6	26.8-30.8	23.3-27.3
1.18	31.6-37.6	25.6-31.6	22.3-28.3	18.1-24.1	15.5-21.5
0.60	23.5-27.5	19.1-23.1	16.7-20.7	13.6-17.6	11.7-15.7
0.30	18.7	15.5	13.7	11.4	10.0

Nota. Fuente: (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 191

Cálculo de análisis granulométrico del agregado grueso de Morro Blanco según MAC-2

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICA-CIONES	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	MAC-2	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	2000.00	100.0%		
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	2000.00	100.0%	100%	
1/2"	12.70	953.04	955.00	1028.57	1029.30	1115.43	1115.67	1033.32	51.67%	1033.32	51.67%	966.68	48.3%	80%	100%
3/8"	9.53	613.04	615.00	432.37	433.10	452.53	452.77	500.29	25.01%	1533.61	76.68%	466.39	23.3%	70%	88%
Nº 4	4.76	428.04	430.00	536.87	537.60	431.33	431.57	466.39	23.32%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%	51%	68%
Nº 8	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%		
Nº 10	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%	38%	52%
Nº 16	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%		
Nº 30	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%		
Nº 40	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%	17%	28%
Nº 50	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%		
Nº 80	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%	8%	17%
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%		
Nº 200	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%	4%	8%
Fondo	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%		
TOTAL	-	1994.11	2000.00	1997.80	2000.00	1999.30	2000.00	2000.00	100%						

Nota. Fuente: Propia.

- Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	**2000.00 gr**	**PESO INICIAL 2=**	**2000.00 gr**	**PESO INICIAL 3=**	**2000.00 gr**
MAT. PERDIDO 1=	**5.89 gr**	**MAT. PERDIDO 2=**	**2.20 gr**	**MAT. PERDIDO 3=**	**0.70 gr**
ERROR (%) 1 =	**0.29 %**	**ERROR (%) 2 =**	**0.11 %**	**ERROR (%) 3=**	**0.04 %**
CORRECCIÓN 1=	**1.96 gr**	**CORRECCIÓN 2=**	**0.73 gr**	**CORRECCIÓN 3 =**	**0.23 gr**

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 192

Cálculo de análisis granulométrico del agregado grueso de Morro Blanco según (SUPERPAVE - 12.5 mm)

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES			
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCIÓN	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	2000.00	100.0%				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	2000.00	100.0%		100%		
1/2"	12.70	953.04	955.00	1028.57	1029.30	1115.43	1115.67	1033.32	51.67%	955.00	51.67%	1045.00	48.3%	90%	100%		
3/8"	9.53	613.04	615.00	432.37	433.10	452.53	452.77	500.29	25.01%	1570.00	76.68%	430.00	23.3%				
Nº 4	4.76	428.04	430.00	536.87	537.60	431.33	431.57	466.39	23.32%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%				
Nº 8	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%	58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%				
Nº 16	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%			25.6%	31.6%
Nº 30	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%			19.1%	23.1%
Nº 40	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%				
Nº 50	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%			15.5%	15.5%
Nº 80	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%				
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%				
Nº 200	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%	10%	2%		
Fondo	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2000.00	100.00%	0.00	0.0%				
TOTAL	-	1994.11	2000.00	1997.80	2000.00	1999.30	2000.00	2000.00	100%								

Nota. Fuente: Propia.

- Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	**2000.00 gr**	**PESO INICIAL 2=**	**2000.00 gr**	**PESO INICIAL 3=**	**2000.00 gr**
MAT. PERDIDO 1=	**5.89 gr**	**MAT. PERDIDO 2=**	**2.20 gr**	**MAT. PERDIDO 3=**	**0.70 gr**
ERROR (%) 1 =	**0.29 %**	**ERROR (%) 2 =**	**0.11 %**	**ERROR (%) 3=**	**0.04 %**
CORRECCIÓN 1=	**1.96 gr**	**CORRECCIÓN 2=**	**0.73 gr**	**CORRECCIÓN 3 =**	**0.23 gr**

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

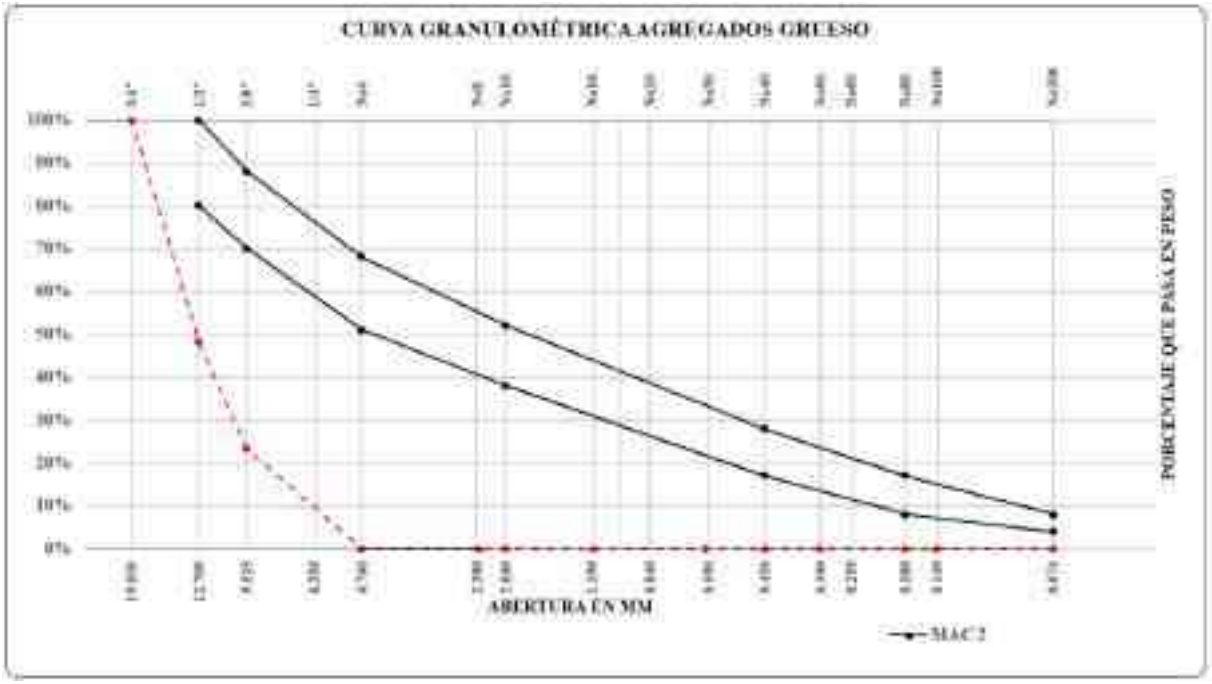


Figura 192. Curva granulométrica del agregado grueso-MAC.

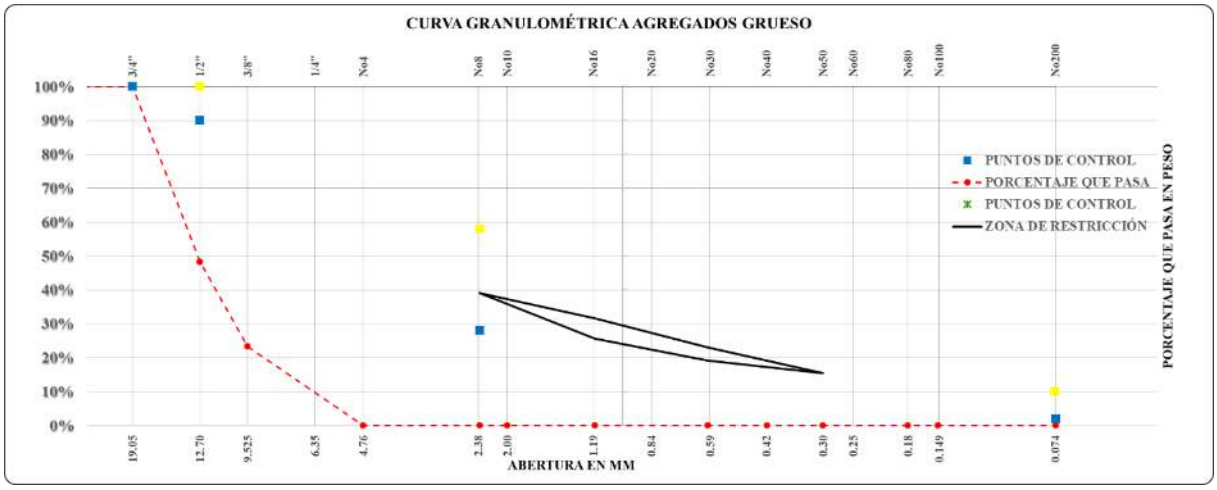


Figura 193. Curva granulométrica del agregado grueso-SUPERPAVE.

b) Análisis del ensayo

Como se distingue en la tabla, los porcentajes que pasan del agregado grueso de Morro Blanco proveniente de la cantera de San Salvador-Pisac, no cumple con las especificaciones de distribución granulométrica MAC-2 dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC).

Asimismo, se distingue en la tabla, que los porcentajes que pasan del agregado grueso de Morro Blanco proveniente de la cantera de San Salvador-Pisac, no cumple con las especificaciones de distribución granulométrica según Superpave 12.5 mm.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.1.2 Abrasión Los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½ “) (MTC E 207)

a) Cálculos del ensayo

El resultado de abrasión Los Ángeles se expresa en porcentaje de desgaste, este porcentaje se halla calculando la diferencia del peso inicial y el final respecto al peso inicial.

$$\%\ de\ desgaste = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial} x100$$

$$\%\ de\ desgaste = \frac{5000 - 3835}{5000} x100$$

$$\%\ de\ desgaste = 23.3\%$$

Tabla 193

Resultado del ensayo de abrasión los ángeles

DESCRIPCIÓN	RESULTADO	UNIDAD
% Abrasión	23.3	%

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis del ensayo

Tabla 194

Requerimientos de calidad para el ensayo de abrasión los ángeles

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO
% Abrasión Los Ángeles (Según EG - 2013,MTC)	30% máximo
% Abrasión Los Ángeles (Según C.E 010 Pavimentos Urbanos,RNE)	30% máximo
% Abrasión Los Ángeles (Resultado del ensayo)	23.30%

Nota. Fuente: Propia.

Como resultado del ensayo de abrasión al desgaste del Agregado Grueso de Morro Blanco proveniente de San Salvador –Pisac se obtuvo que el porcentaje de desgaste es 23.3 %, cumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también con la normativa C.E 010 Pavimentos Urbanos especificado en el RNE.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.1.3 Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206)

a) Cálculos del ensayo

El peso específico es un parámetro importante para el diseño Marshall. El ensayo se realizó 3 veces para el Agregado Grueso de Morro Blanco, para poder obtener un promedio y de esta forma tener un resultado más preciso.

Las fórmulas usadas serán las siguientes:

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

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

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{B}{B-C})$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{A}{A-C})$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{B-A}{A}\right) X100$$

Donde:

A=Peso de la muestra seca

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada

Ensayo N°1:

A=Peso de la muestra seca = 2000 gr.

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 2016.9 gr.

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 1251.5 gr.

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

$$Gsb = \left(\frac{2000}{2016.9 - 1251.5}\right)$$

$$Gsb = 2.613\ gr/cm3$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = \left(\frac{2016.9}{2016.9 - 1251.5}\right)$$

$$Gsssb = 2.635\ gr/cm3$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = \left(\frac{2000}{2000 - 1251.5}\right)$$

$$Gsa = 2.672\ gr/cm3$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{2016.9 - 2000}{2000}\right) X100$$

$$Absorción\ (\%) = 0.845\ \%$$

Ensayo N°2:

A=Peso de la muestra seca = 2000 gr.

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 2013 gr.

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 1249.1 gr.

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \left(\frac{2000}{2013 - 1249.1}\right)$$

$$Gsb = 2.618\ gr/cm3$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = \left(\frac{2013}{2013 - 1249.1}\right)$$

$$Gsssb = 2.635\ gr/cm3$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

$$Gsa = (\frac{2000}{2000 - 1249.1})$$

$$Gsa = 2.663\ gr/cm3$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{2013 - 2000}{2000}\right) X100$$

$$Absorción\ (\%) = 0.65\ \%$$

Ensayo N°3:

A=Peso de la muestra seca = 2000 gr.

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 2016 gr.

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 1252 gr.

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \left(\frac{2000}{2016 - 1252}\right)$$

$$Gsb = 2.617\ gr/cm3$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{2016}{2016 - 1252})$$

$$Gsssb = 2.638\ gr/cm3$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{2000}{2000 - 1252})$$

$$Gsa = 2.673\ gr/cm3$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{2016 - 2000}{2000}\right) X100$$

$$Absorción\ (\%) = 0.8\ \%$$

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 195

Resultados del ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos

DESCRIPCIÓN	1	2	3	PROMEDIO	UNIDAD
Gravedad especifica seca bulk (Gsb)	2.613	2.618	2.617	2.616	gr/cm3
Gravedad especifica SSS Bulk (Gsssb)	2.635	2.635	2.638	2.636	gr/cm3
Gravedad especifica seca aparente (Gsa)	2.672	2.663	2.673	2.670	gr/cm3
Absorción (Abs)	0.845	0.650	0.800	0.765	%

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis del ensayo

Tabla 196

Requerimientos de calidad para el ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO
% Absorción (Según C.E 010 Pavimentos Urbanos,RNE)	1% máximo
% Absorción (Resultado del ensayo)	0.675%

Nota. Fuente: Propia.

Como resultado del ensayo de Peso Específico del Agregado Grueso Morro Blanco a 3 muestras se obtuvo como promedio 0.675 %, cumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también con la normativa C.E 010 Pavimentos Urbanos especificado en el RNE.

3.6.1.4 Determinación de partículas largas y achatadas (ASTM D 4791)

a) Cálculos del ensayo

Para ambos cálculos haremos uso de las siguientes fórmulas:

$$\%\, IAP = \frac{Peso\ inicial}{Peso\ final} * 100$$

$$IAP = \frac{\%IAP(1/2")}{\%Retenido(1/2")} + \frac{\%IAP(3/8")}{\%Retenido(3/8")} + \frac{\%IAP(1/4")}{\%Retenido(1/4")}$$

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 197

Cálculo del índice de aplanamiento

TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% IAP
PASA	RETIENE	Gr.			Gr.	Gr.	
3/4"	1/2"	611.5	61.15	138	611.5	32.9	5.380
1/2"	3/8"	355.2	35.52	190	355.2	43.5	12.247
3/8"	1/4"	33.3	3.33	-	-	-	0.000
TOTALES		1000	100	328	966.7	76.4	17.627

Nota. Fuente: Propia.

- Índice de aplanamiento de la fracción ensayada: 7.64%

Tabla 198

Cálculo del índice de alargamiento

TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% IAP
PASA	RETIENE	Gr.			Gr.	Gr.	
3/4"	1/2"	611.5	61.15	138	611.5	13.1	2.142
1/2"	3/8"	355.2	35.52	190	355.2	9.8	2.759
3/8"	1/4"	33.3	3.33	-	-	-	0.000
TOTALES		1000	100	328	966.7	22.9	4.901

Nota. Fuente: Propia.

- Índice de alargamiento de la fracción ensayada: 2.29%

$$Partículas\ chatas\ y\ alargadas\ (\%) = Indice\ de\ aplanamiento\ (\%) + indice\ de\ alargamiento(\%)$$

$$Partículas\ chatas\ y\ alargadas\ (\%) = 7.64\% + 2.29\%$$

$$Partículas\ chatas\ y\ alargadas\ (\%) = 9.93\%$$

b) Análisis del ensayo

Tabla 199

Requerimientos de calidad para el ensayo de partículas largas y achatadas

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO
% Particulas chatas y alargadas (Según EG - 2013,MTC)	10% máximo
% Particulas chatas y alargadas (Según C.E 010 Pavimentos Urbanos,RNE)	15% máximo
% Particulas chatas y alargadas (Resultado del ensayo)	9.93%

Nota. Fuente: Propia.

*Considerando a una altura >3.000 msnm

Como resultado del ensayo de partículas largas y achatadas se obtuvo como valor de índice de aplanamiento obtenido y alargamiento 9.93%, cumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también con la normativa C.E 010 Pavimentos Urbanos especificado en el RNE.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.1.5 Ensayo de determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el Agregado Grueso (MTC E 210)

a) Cálculos del ensayo

Para ambos cálculos haremos uso de las siguientes fórmulas:

$$\%Fracturadas = \frac{Fracturadas(gr)}{Peso(gr)} * 100$$

$$\%Retenido = \frac{Peso(gr)}{Total(gr)} * 100$$

$$Promedio\ fracturadas = \%Fracturadas * \%Retenido$$

$$\%\ de\ una\ cara\ fracturada\ o\ de\ dos\ o\ mas\ caras\ fracturadas = \frac{\sum Promedio\ fracturadas}{\sum \%Retenido}$$

Tabla 200

Cálculo de porcentaje de caras fracturadas para una cara fracturada

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO(gr)	FRACTURADAS (gr)	FRACTURADAS (%)	RETENIDO (%)	PROMEDIO FRACTURADAS
Pasa tamiz	Retiene tamiz					
3/4"	1/2"	970.7	945	97.352	64.713	6300.000
1/2"	3/8"	529.3	518.4	97.941	35.287	3456.000
TOTAL		1500	1463.40		100.000	9756.000

Nota. Fuente: Propia.

$$\%\ de\ una\ cara\ fracturada\ = \frac{9756}{100\%} = 97.56\%$$

Tabla 201

Cálculo de porcentaje de caras fracturadas para dos o más caras fracturadas

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO(gr)	FRACTURADAS (gr)	FRACTURADAS (%)	RETENIDO (%)	PROMEDIO FRACTURADAS
Pasa tamiz	Retiene tamiz					
3/4"	1/2"	970.7	847.4	87.298	64.713	5649.333
1/2"	3/8"	529.3	501.1	94.672	35.287	3340.667
TOTAL		1500	1348.50		100.000	8990.000

Nota. Fuente: Propia.

$$\%\ de\ dos\ o\ mas\ caras\ fractutadas = \frac{8990}{100\%} = 89.90\%$$

b) Análisis del ensayo

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 202

Requerimientos de calidad para el ensayo de caras fracturadas

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO
% Partículas fracturadas (Según EG - 2013,MTC)	90/70 mínimo*
% Partículas fracturadas (Según C.E 010 Pavimentos Urbanos,RNE)	50/30 mínimo**
% Partículas fracturadas (Resultado del ensayo)	97.65/89.90

Nota. Fuente: Propia.

*Considerando a una altura >3.000 msnm

** Considerando un espesor de capa >100 mm en vías locales y colectoras.

Como resultado del ensayo de porcentaje de partículas fracturadas en agregados se obtuvo como % de partículas fracturadas un 97.56% con una cara fracturada y 89.9% con dos o más caras fracturadas, cumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también con la normativa C.E 010 Pavimentos Urbanos especificado en el RNE.

3.6.1.6 Durabilidad al sulfato de Magnesio del agregado grueso (MTC E 209)

a) Cálculos del ensayo

Tabla 203

Cálculo de la durabilidad al sulfato de Magnesio del agregado grueso

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDAS DE PESO		ESCALONADO ORIGINAL	PÉRDIDAS CORREGIDAS
ASTM	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	%		
3/4"-1/2"	670.000	671.100	627.800	43.300	6.452	54.15	3.494
1/2" - 3/8"	300.000	302.100	284.900	17.200	5.693	24.31	1.384
3/8" - N° 4	300.000	301.800	267.400	34.400	11.398	21.54	2.455
						PÉRDIDAS TOTALES	**7.333**

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis del ensayo

Tabla 204

Requerimientos de calidad para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO
% Durabilidad al sulfato de Magnesio(Según EG - 2013,MTC)	15% máximo*
% Durabilidad al sulfato de Magnesio(Según C.E 010 Pavimentos Urbanos,R	15% máximo*
% Durabilidad al sulfato de Magnesio (Resultado del ensayo)	7.33%

Nota. Fuente: Propia.

*Considerando a una altura >3.000 msnm

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Como resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso de Morro Blanco se obtuvo 7.33% cumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también con la normativa C.E 010 Pavimentos Urbanos especificado en el RNE.

3.6.2 Control de calidad de los Agregados finos

3.6.2.1 Análisis granulométrico de agregados finos (MTC E 204)

a) Cálculos del ensayo

a.1) Análisis granulométrico arena Cunyac**:**

El procesamiento del ensayo de granulometría de la arena fina de Cunyac, consiste en calcular los porcentajes que pasa en cada una de las mallas las cuales se determinaron por la gradación de la granulometría Superpave 12.5 mm y MAC-2. Debiendo cumplir con los parámetros establecidos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 205

Cálculo de análisis granulométrico de la arena fina de Cunyac según MAC-2

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	MAC-2	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%		
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%	100%	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%	80%	100%
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%	70%	88%
Nº 4	4.76	60.70	60.73	62.15	62.67	58.50	58.71	60.70	6.07%	60.70	6.07%	939.30	93.9%	51%	68%
Nº 8	2.36	97.05	97.07	81.65	82.17	112.60	112.81	97.35	9.74%	158.06	15.81%	841.94	84.2%		
Nº 10	2.00	18.42	18.45	18.50	19.02	21.10	21.31	19.59	1.96%	177.65	17.76%	822.35	82.2%	38%	52%
Nº 16	1.18	58.53	58.55	76.60	77.12	82.00	82.21	72.63	7.26%	250.28	25.03%	749.72	75.0%		
Nº 30	0.60	131.37	131.39	192.20	192.72	130.30	130.51	151.54	15.15%	401.82	40.18%	598.18	59.8%		
Nº 40	0.42	158.69	158.71	164.70	165.22	136.90	137.11	153.68	15.37%	555.50	55.55%	444.50	44.4%	17%	28%
Nº 50	0.30	216.34	216.36	170.90	171.42	206.00	206.21	198.00	19.80%	753.50	75.35%	246.50	24.7%		
Nº 80	0.18	181.38	181.40	149.70	150.22	183.00	183.21	171.61	17.16%	925.11	92.51%	74.89	7.5%	8%	17%
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	925.11	92.51%	74.89	7.5%		
Nº 200	0.07	69.04	69.06	65.20	65.72	58.70	58.91	64.57	6.46%	989.68	98.97%	10.32	1.0%	4%	8%
Fondo	-	8.27	8.27	13.70	13.70	9.00	9.00	10.32	1.03%	1000.00	100.00%	0.00	0.0%		
TOTAL	-	999.78	1000.00	995.30	1000.00	998.10	1000.00	1000.00	100%						

- Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	**1000.00**	**gr**	**PESO INICIAL 2=**	**1000.00**	**gr**	**PESO INICIAL 3=**	**1000.00**	**gr**
MAT. PERDIDO 1=	**0.22**	**gr**	**MAT. PERDIDO 2=**	**4.70**	**gr**	**MAT. PERDIDO 3=**	**1.90**	**gr**
ERROR (%) 1 =	**0.022**	**%**	**ERROR (%) 2 =**	**0.47**	**%**	**ERROR (%) 3=**	**0.19**	**%**
CORRECCIÓN 1=	**0.024**	**gr**	**CORRECCIÓN 2=**	**0.52**	**gr**	**CORRECCIÓN 3 =**	**0.21**	**gr**

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 206

Cálculo de análisis granulométrico de la arena fina de Cunyac según SUPERPAVE 12.5 mm

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES			
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCIÓN	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%		100%		
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%	90%	100%		
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%				
Nº 4	4.76	60.70	60.73	62.15	62.67	58.50	58.71	60.70	6.07%	60.70	6.07%	939.30	93.9%				
Nº 8	2.36	97.05	97.07	81.65	82.17	112.60	112.81	97.35	9.74%	158.06	15.81%	841.94	84.2%	58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00	18.42	18.45	18.50	19.02	21.10	21.31	19.59	1.96%	177.65	17.76%	822.35	82.2%				
Nº 16	1.18	58.53	58.55	76.60	77.12	82.00	82.21	72.63	7.26%	250.28	25.03%	749.72	75.0%			25.6%	31.6%
Nº 30	0.60	131.37	131.39	192.20	192.72	130.30	130.51	151.54	15.15%	401.82	40.18%	598.18	59.8%			19.1%	23.1%
Nº 40	0.42	158.69	158.71	164.70	165.22	136.90	137.11	153.68	15.37%	555.50	55.55%	444.50	44.4%				
Nº 50	0.30	216.34	216.36	170.90	171.42	206.00	206.21	198.00	19.80%	753.50	75.35%	246.50	24.7%			15.5%	15.5%
Nº 80	0.18	181.38	181.40	149.70	150.22	183.00	183.21	171.61	17.16%	925.11	92.51%	74.89	7.5%				
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	925.11	92.51%	74.89	7.5%				
Nº 200	0.07	69.04	69.06	65.20	65.72	58.70	58.91	64.57	6.46%	989.68	98.97%	10.32	1.0%	10%	2%		
Fondo	-	8.27	8.27	13.70	13.70	9.00	9.00	10.32	1.03%	1000.00	100.00%	0.00	0.0%				
TOTAL	-	999.78	1000.00	995.30	1000.00	998.10	1000.00	1000.00	100%								

- Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	**1000.00**	**gr**	**PESO INICIAL 2=**	**1000.00**	**gr**	**PESO INICIAL 3=**	**1000.00**	**gr**
MAT. PERDIDO 1=	**0.22**	**gr**	**MAT. PERDIDO 2=**	**4.70**	**gr**	**MAT. PERDIDO 3=**	**1.90**	**gr**
ERROR (%) 1 =	**0.02**	**%**	**ERROR (%) 2 =**	**0.47**	**%**	**ERROR (%) 3=**	**0.19**	**%**
CORRECCIÓN 1=	**0.02**	**gr**	**CORRECCIÓN 2=**	**0.52**	**gr**	**CORRECCIÓN 3 =**	**0.21**	**gr**

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 194. Curva granulométrica del agregado fino-Arena natural de Cunyac-MAC.

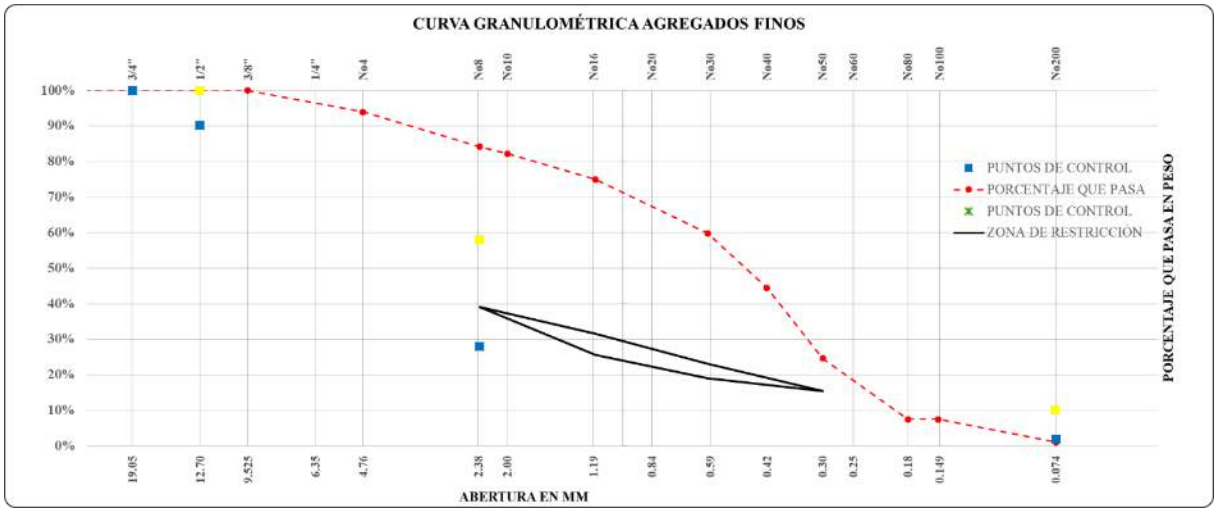


Figura 195. Curva granulométrica del agregado fino-Arena natural de Cunyac-SUPERPAVE.

a.2) Análisis granulométrico de la arena triturada de Morro Blanco:

El procesamiento del ensayo de granulometría de la arena triturada de Morro Blanco, consiste en calcular los porcentajes que pasa en cada una de las mallas las cuales se determinaron por la gradación de la ASTM D 3515 (huso 5) y MAC-2. Debiendo cumplir con los parámetros establecidos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 207

Cálculo de análisis granulométrico de la arena triturada de Morro Blanco según MAC-2.

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	MAC-2	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%		
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%	100%	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%	80%	100%
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%	70%	88%
Nº 4	4.76	153.20	153.35	158.30	158.34	131.80	131.94	147.88	14.79%	147.88	14.79%	852.12	85.2%	51%	68%
Nº 8	2.36	247.52	247.68	265.40	265.44	249.00	249.14	254.09	25.41%	401.97	40.20%	598.03	59.8%		
Nº 10	2.00	46.53	46.68	38.90	38.94	44.60	44.74	43.46	4.35%	445.43	44.54%	554.57	55.5%	38%	52%
Nº 16	1.18	124.40	124.55	119.60	119.64	125.90	126.04	123.41	12.34%	568.84	56.88%	431.16	43.1%		
Nº 30	0.60	116.63	116.78	105.30	105.34	117.10	117.24	113.12	11.31%	681.96	68.20%	318.04	31.8%		
Nº 40	0.42	56.61	56.77	49.70	49.74	55.20	55.34	53.95	5.40%	735.91	73.59%	264.09	26.4%	17%	28%
Nº 50	0.30	51.52	51.68	50.00	50.04	53.70	53.84	51.85	5.19%	787.77	78.78%	212.23	21.2%		
Nº 80	0.18	67.01	67.16	66.90	66.94	70.10	70.24	68.12	6.81%	855.88	85.59%	144.12	14.4%	8%	17%
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	855.88	85.59%	144.12	14.4%		
Nº 200	0.07	87.78	87.94	99.30	99.34	97.80	97.94	95.07	9.51%	950.96	95.10%	49.04	4.9%	4%	8%
Fondo	-	47.43	47.43	46.20	46.20	53.50	53.50	49.04	4.90%	1000.00	100.00%	0.00	0.0%		
TOTAL	-	998.62	1000.00	999.60	1000.00	998.70	1000.00	1000.00	100%						

- Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	**1000.00**	**gr**	**PESO INICIAL 2=**	**1000.00**	**gr**	**PESO INICIAL 3=**	**1000.00**	**gr**
MAT. PERDIDO 1=	**1.38**	**gr**	**MAT. PERDIDO 2=**	**0.40**	**gr**	**MAT. PERDIDO 3=**	**1.30**	**gr**
ERROR (%) 1 =	**0.138**	**%**	**ERROR (%) 2 =**	**0.04**	**%**	**ERROR (%) 3=**	**0.13**	**%**
CORRECCIÓN 1=	**0.15**	**gr**	**CORRECCIÓN 2=**	**0.04**	**gr**	**CORRECCIÓN 3 =**	**0.14**	**gr**

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 208

Cálculo de análisis granulométrico de la arena triturada de Morro Blanco según SUPERPAVE 12.5 mm

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES			
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCIÓN	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%		100%		
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%	90%	100%		
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%				
Nº 4	4.76	153.20	153.35	158.30	158.34	131.80	131.94	147.88	14.79%	153.35	14.79%	846.65	85.2%				
Nº 8	2.36	247.52	247.68	265.40	265.44	249.00	249.14	254.09	25.41%	401.03	40.20%	598.97	59.8%	58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00	46.53	46.68	38.90	38.94	44.60	44.74	43.46	4.35%	447.71	44.54%	552.29	55.5%				
Nº 16	1.18	124.40	124.55	119.60	119.64	125.90	126.04	123.41	12.34%	572.26	56.88%	427.74	43.1%			25.6%	31.6%
Nº 30	0.60	116.63	116.78	105.30	105.34	117.10	117.24	113.12	11.31%	689.04	68.20%	310.96	31.8%			19.1%	23.1%
Nº 40	0.42	56.61	56.77	49.70	49.74	55.20	55.34	53.95	5.40%	745.80	73.59%	254.20	26.4%				
Nº 50	0.30	51.52	51.68	50.00	50.04	53.70	53.84	51.85	5.19%	797.48	78.78%	202.52	21.2%			15.5%	15.5%
Nº 80	0.18	67.01	67.16	66.90	66.94	70.10	70.24	68.12	6.81%	864.64	85.59%	135.36	14.4%				
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	864.64	85.59%	135.36	14.4%				
Nº 200	0.07	87.78	87.94	99.30	99.34	97.80	97.94	95.07	9.51%	952.58	95.10%	47.42	4.9%	10%	2%		
Fondo	-	47.43	47.43	46.20	46.20	53.50	53.50	49.04	4.90%	1000.00	100.00%	0.00	0.0%				
TOTAL	-	998.62	1000.00	999.60	1000.00	998.70	1000.00	1000.00	100%								

- Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	**1000.00**	**gr**	**PESO INICIAL 2=**	**1000.00**	**gr**	**PESO INICIAL 3=**	**1000.00**	**gr**
MAT. PERDIDO 1=	**1.38**	**gr**	**MAT. PERDIDO 2=**	**0.40**	**gr**	**MAT. PERDIDO 3=**	**1.30**	**gr**
ERROR (%) 1 =	**0.14**	**%**	**ERROR (%) 2 =**	**0.04**	**%**	**ERROR (%) 3=**	**0.13**	**%**
CORRECCIÓN 1=	**0.15**	**gr**	**CORRECCIÓN 2=**	**0.04**	**gr**	**CORRECCIÓN 3 =**	**0.14**	**gr**

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

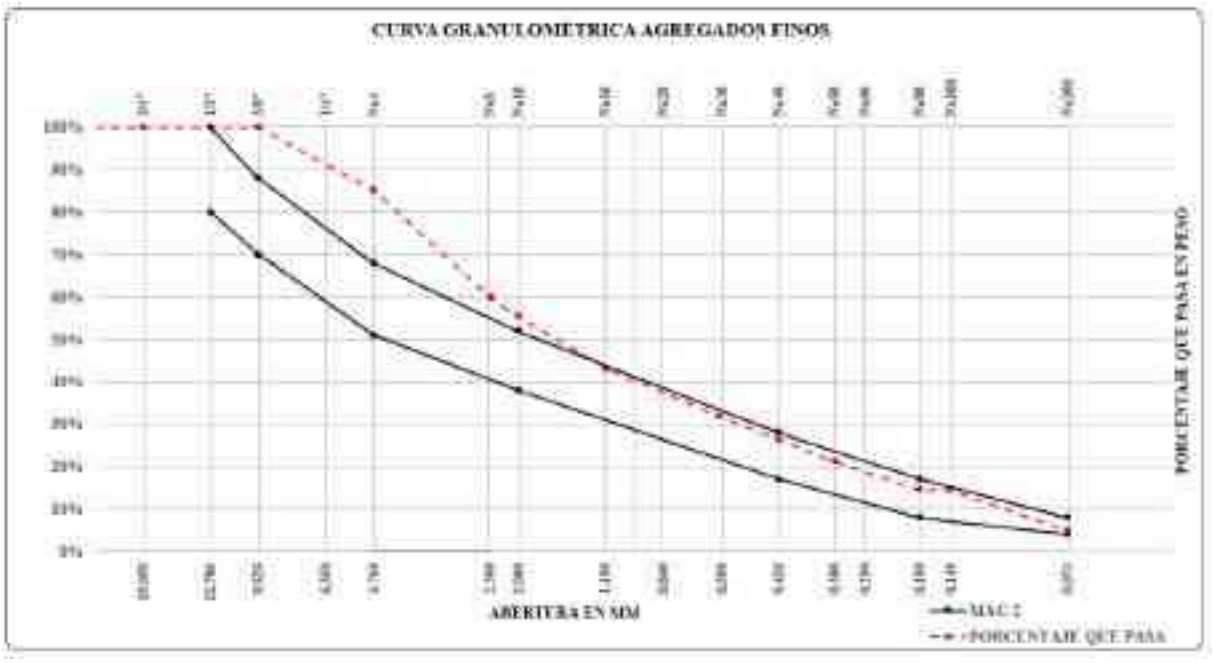


Figura 196.Curva granulométrica del agregado fino-Arena triturada de Morro Blanco-MAC.

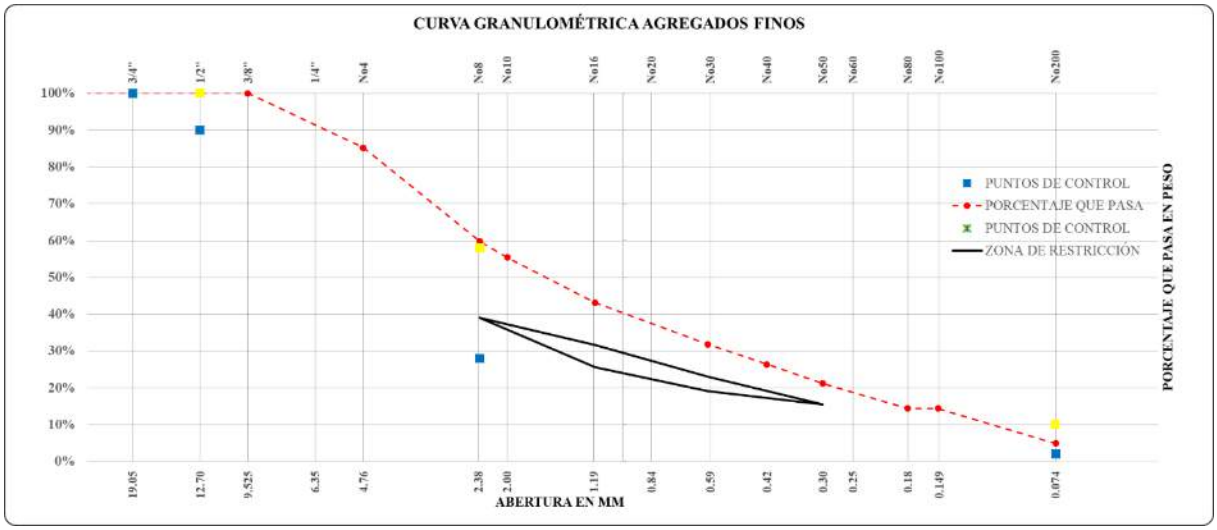


Figura 197. Curva granulométrica del agregado fino-Arena triturada de Morro Blanco-SUPERPAVE.

b) Análisis del ensayo

Como se distingue en la tabla, los porcentajes que pasan de la arena de Cunyac y de la arena triturada de triturado de Morro Blanco, no cumplen con las especificaciones de distribución granulométrica MAC-2 dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC).

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Asimismo, se distingue en la tabla, que los porcentajes que pasan de la arena de Cunyac y de la arena triturada de triturado de Morro Blanco, no cumplen con las especificaciones de distribución granulométrica según la granulometría Superpave.

3.6.2.2 Gravedad específica y absorción del agregado fino (MTC E 205)

a) Cálculos del ensayo

El peso específico es un parámetro importante para el diseño Marshall. El ensayo se realizó 3 veces para ambos agregados (arena de Cunyac y arena triturada de Morro Blanco), para poder obtener un promedio y de esta forma tener un resultado más preciso. Previo al ensayo se realizó la debida calibración de la las dos fiolas usadas.

Las fórmulas usadas serán las siguientes:

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = (\frac{A}{B + D - C})$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{D}{B + D - C})$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{A}{B + A - C})$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{D - A}{A}\right) X100$$

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Donde:

A=Peso de la muestra seca

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada

D= Peso de la muestra saturada superficialmente seca

K=Coeficiente de corrección por temperatura

a1) Arena natural de Cunyac:

- Calibración de fiola para ensayo en la arena de Cunyac:

Tabla 209

Cálculo del coeficiente de temperatura K

Nro. DE MUESTRA	PESO Gr	TEMPERAT. °C	VALOR DE OBTENIDO DE GRÁFICA	DENSIDAD (G/mL)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA K
1	686.2	18.9			
2	685.9	24.2			
3	685.6	27.6	25.20	0.99700	0.99879
4	685.5	30.3			
PROMEDIO	685.8				

Nota. Fuente: Propia.

Figura 198. Peso Vs. Temperatura

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 210

Densidad del agua y coeficiente de temperatura (K) para varias temperaturas

Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)ª	Coeficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)ª	Coeficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)ª	Coeficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)ª	Coeficiente Temperatura (K)
15,0	0,99910	1,00090	16,0	0,99895	1,00074	17,0	0,99878	1,00057	18,0	0,99860	1,00039
15,1	0,99909	1,00088	16,1	0,99893	1,00072	17,1	0,99876	1,00055	18,1	0,99858	1,00037
15,2	0,99907	1,00087	16,2	0,99891	1,00071	17,2	0,99874	1,00054	18,2	0,99856	1,00035
15,3	0,99906	1,00085	16,3	0,99890	1,00069	17,3	0,99872	1,00052	18,3	0,99854	1,00034
15,4	0,99904	1,00084	16,4	0,99888	1,00067	17,4	0,99871	1,00050	18,4	0,99852	1,00032
15,5	0,99902	1,00082	16,5	0,99886	1,00066	17,5	0,99869	1,00048	18,5	0,99850	1,00030
15,6	0,99901	1,00080	16,6	0,99885	1,00064	17,6	0,99867	1,00047	18,6	0,99848	1,00028
15,7	0,99899	1,00079	16,7	0,99883	1,00062	17,7	0,99865	1,00045	18,7	0,99847	1,00026
15,8	0,99898	1,00077	16,8	0,99881	1,00061	17,8	0,99863	1,00043	18,8	0,99845	1,00024
15,9	0,99896	1,00076	16,9	0,99879	1,00059	17,9	0,99862	1,00041	18,9	0,99843	1,00022
19,0	0,99841	1,00020	20,0	0,99821	1,00000	21,0	0,99799	0,99979	22,0	0,99777	0,99957
19,1	0,99839	1,00018	20,1	0,99819	0,99998	21,1	0,99797	0,99977	22,1	0,99775	0,99954
19,2	0,99837	1,00016	20,2	0,99816	0,99996	21,2	0,99795	0,99974	22,2	0,99773	0,99952
19,3	0,99835	1,00014	20,3	0,99814	0,99994	21,3	0,99793	0,99972	22,3	0,99770	0,99950
19,4	0,99833	1,00012	20,4	0,99812	0,99992	21,4	0,99791	0,99970	22,4	0,99768	0,99947
19,5	0,99831	1,00010	20,5	0,99810	0,99990	21,5	0,99789	0,99968	22,5	0,99766	0,99945
19,6	0,99829	1,00008	20,6	0,99808	0,99987	21,6	0,99786	0,99966	22,6	0,99764	0,99943
19,7	0,99827	1,00006	20,7	0,99806	0,99985	21,7	0,99784	0,99963	22,7	0,99761	0,99940
19,8	0,99825	1,00004	20,8	0,99804	0,99983	21,8	0,99782	0,99961	22,8	0,99759	0,99938
19,9	0,99823	1,00002	20,9	0,99802	0,99981	21,9	0,99780	0,99959	22,9	0,99756	0,99936
23,0	0,99754	0,99933	24,0	0,99730	0,99909	25,0	0,99705	0,99884	26,0	0,99679	0,99858
23,1	0,99752	0,99931	24,1	0,99727	0,99907	25,1	0,99702	0,99881	26,1	0,99676	0,99855
23,2	0,99749	0,99929	24,2	0,99725	0,99904	25,2	0,99700	0,99879	26,2	0,99673	0,99852
23,3	0,99747	0,99926	24,3	0,99723	0,99902	25,3	0,99697	0,99876	26,3	0,99671	0,99850
23,4	0,99745	0,99924	24,4	0,99720	0,99899	25,4	0,99694	0,99874	26,4	0,99668	0,99847
23,5	0,99742	0,99921	24,5	0,99717	0,99897	25,5	0,99692	0,99871	26,5	0,99665	0,99844
23,6	0,99740	0,99919	24,6	0,99715	0,99894	25,6	0,99689	0,99868	26,6	0,99663	0,99842
23,7	0,99737	0,99917	24,7	0,99712	0,99892	25,7	0,99687	0,99866	26,7	0,99660	0,99839
23,8	0,99735	0,99914	24,8	0,99710	0,99889	25,8	0,99684	0,99863	26,8	0,99657	0,99836
23,9	0,99732	0,99912	24,9	0,99707	0,99887	25,9	0,99681	0,99860	26,9	0,99654	0,99833
27,0	0,99652	0,99831	28,0	0,99624	0,99803	29,0	0,99595	0,99774	30,0	0,99565	0,99744
27,1	0,99649	0,99828	28,1	0,99621	0,99800	29,1	0,99592	0,99771	30,1	0,99562	0,99741
27,2	0,99646	0,99825	28,2	0,99618	0,99797	29,2	0,99589	0,99768	30,2	0,99559	0,99738
27,3	0,99643	0,99822	28,3	0,99615	0,99794	29,3	0,99586	0,99765	30,3	0,99556	0,99735
27,4	0,99641	0,99820	28,4	0,99612	0,99791	29,4	0,99583	0,99762	30,4	0,99553	0,99732
27,5	0,99638	0,99817	28,5	0,99609	0,99788	29,5	0,99580	0,99759	30,5	0,99550	0,99729
27,6	0,99635	0,99814	28,6	0,99607	0,99785	29,6	0,99577	0,99756	30,6	0,99547	0,99726
27,7	0,99632	0,99811	28,7	0,99604	0,99783	29,7	0,99574	0,99753	30,7	0,99544	0,99723
27,8	0,99629	0,99808	28,8	0,99601	0,99780	29,8	0,99571	0,99750	30,8	0,99541	0,99720
27,9	0,99627	0,99806	28,9	0,99598	0,99777	29,9	0,99568	0,99747	30,9	0,99538	0,99716

Nota. Fuente: (MTC, 2013)

- Gravedad específica y absorción de la arena fin de Cunyac:

Ensayo N°1:

A=Peso de la muestra seca = 494.44 gr.

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 685.80 gr.

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 999.10 gr.

D= Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr.

K=0.99879

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \left(\frac{494.44}{685.80 + 500 - 999.10}\right)$$

$$Gsb = 2.648\ gr/cm3$$

$$Gsb\ corregido = 2.648\frac{gr}{cm3} * K$$

$$Gsb\ corregido = 2.648\frac{gr}{cm3} * 0.99879 = 2.645\ gr/cm3$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{500}{685.80 + 500 - 999.10})$$

$$Gsssb = 2.678\ gr/cm3$$

$$Gsssb\ corregido = 2.678\frac{gr}{cm3} * 0.99879 = 2.675\ \frac{gr}{cm3}$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{494.44}{685.80 + 494.44 - 999.10})$$

$$Gsa = 2.730\ gr/cm3$$

$$Gsa\ corregido = 2.730\frac{gr}{cm3} * 0.99879 = 2.726\ \frac{gr}{cm3}$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{500 - 494.44}{500}\right) X100$$

$$Absorción\ (\%) = 1.125\ \%$$

Ensayo N°2:

A=Peso de la muestra seca = 491.77 gr.

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 685.8 gr.

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 998.6 gr.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

D= Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr.

K=0.99879

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \left(\frac{491.77}{685.8 + 500 - 998.6}\right)$$

$$Gsb = 2.627\ gr/cm3$$

$$Gsb\ corregido = 2.627\ \frac{gr}{cm3} * 0.99879 = 2.624\ gr/cm3$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{500}{685.80 + 500 - 998.6})$$

$$Gsssb = 2.671\ gr/cm3$$

$$Gsssb\ corregido = 2.671\ \frac{gr}{cm3} * 0.99879 = 2.668\ gr/cm3$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{491.77}{685.80 + 491.77 - 998.60})$$

$$Gsa = 2.748\ gr/cm3$$

$$Gsa\ corregido = 2.748\ \frac{gr}{cm3} * 0.99879 = 2.744\ gr/cm3$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{500 - 491.77}{500}\right) X100$$

$$Absorción\ (\%) = 1.674\ \%$$

Ensayo N°3:

A=Peso de la muestra seca = 490.37 gr.

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 685.80 gr.

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 998.40 gr.

D= Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

K=0.99879

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \left(\frac{490.37}{685.80 + 500 - 998.4}\right)$$

$$Gsb = 2.617\ gr/cm3$$

$$Gsb\ corregido = 2.617\ \frac{gr}{cm3} * 0.99879 = 2.614\ gr/cm3$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{500}{685.80 + 500 - 998.4})$$

$$Gsssb = 2.668\ gr/cm3$$

$$Gsssb\ corregido = 2.668\ \frac{gr}{cm3} * 0.99879 = 2.665\ gr/cm3$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{490.37}{685.8 + 490.37 - 998.4})$$

$$Gsa = 2.758\ gr/cm3$$

$$Gsa\ corregido = 2.758\ \frac{gr}{cm3} * 0.99879 = 2.755\ gr/cm3$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{500 - 490.37}{500}\right) X100$$

$$Absorción\ (\%) = 1.964\ \%$$

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 211

Resultados del ensayo de peso específico y absorción de agregados finos-Arena natural de Cunyac

DESCRIPCIÓN	1	2	3	PROMEDIO	UNIDAD
Absorción (abs)	1.125	1.674	1.964	1.588	%
Gravedad Especifica Bulk (Gsb)	2.645	2.624	2.614	2.627	gr/cm3
Gravedad Específica SSS Bulk (Gsssb)	2.675	2.668	2.665	2.669	gr/cm3
Gravedad Especifica Aparente (Gsa)	2.726	2.744	2.755	2.742	gr/cm3

Nota. Fuente: Propia.

a2) Arena Triturada de Morro Blanco:

- Calibración de fiola para ensayo en la arena triturada de Morro Blanco:

Tabla 212

Cálculo del coeficiente de temperatura K

Nro. DE MUESTRA	PESO Gr	TEMPERAT. °C	VALOR DE OBTENIDO DE GRÁFICA	DENSIDAD (G/mL)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA K
1	649	19.9			
2	648.9	22.9			
3	648.5	25.4	23.90	0.99732	0.99912
4	647.8	27.6			
PROMEDIO	648.55				

Nota. Fuente: Propia.

Figura 199. Peso Vs. Temperatura.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 213

Densidad del agua y coeficiente de temperatura (K)

Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)ª	Coeficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)ª	Coeficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)ª	Coeficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)ª	Coeficiente Temperatura (K)
15,0	0,99910	1,00090	16,0	0,99895	1,00074	17,0	0,99878	1,00057	18,0	0,99860	1,00039
15,1	0,99909	1,00088	16,1	0,99893	1,00072	17,1	0,99876	1,00055	18,1	0,99858	1,00037
15,2	0,99907	1,00087	16,2	0,99891	1,00071	17,2	0,99874	1,00054	18,2	0,99856	1,00035
15,3	0,99906	1,00085	16,3	0,99890	1,00069	17,3	0,99872	1,00052	18,3	0,99854	1,00034
15,4	0,99904	1,00084	16,4	0,99888	1,00067	17,4	0,99871	1,00050	18,4	0,99852	1,00032
15,5	0,99902	1,00082	16,5	0,99886	1,00066	17,5	0,99869	1,00048	18,5	0,99850	1,00030
15,6	0,99901	1,00080	16,6	0,99885	1,00064	17,6	0,99867	1,00047	18,6	0,99848	1,00028
15,7	0,99899	1,00079	16,7	0,99883	1,00062	17,7	0,99865	1,00045	18,7	0,99847	1,00026
15,8	0,99898	1,00077	16,8	0,99881	1,00061	17,8	0,99863	1,00043	18,8	0,99845	1,00024
15,9	0,99896	1,00076	16,9	0,99879	1,00059	17,9	0,99862	1,00041	18,9	0,99843	1,00022
19,0	0,99841	1,00020	20,0	0,99821	1,00000	21,0	0,99799	0,99979	22,0	0,99777	0,99957
19,1	0,99839	1,00018	20,1	0,99819	0,99998	21,1	0,99797	0,99977	22,1	0,99775	0,99954
19,2	0,99837	1,00016	20,2	0,99816	0,99996	21,2	0,99795	0,99974	22,2	0,99773	0,99952
19,3	0,99835	1,00014	20,3	0,99814	0,99994	21,3	0,99793	0,99972	22,3	0,99770	0,99950
19,4	0,99833	1,00012	20,4	0,99812	0,99992	21,4	0,99791	0,99970	22,4	0,99768	0,99947
19,5	0,99831	1,00010	20,5	0,99810	0,99990	21,5	0,99789	0,99968	22,5	0,99766	0,99945
19,6	0,99829	1,00008	20,6	0,99808	0,99987	21,6	0,99786	0,99966	22,6	0,99764	0,99943
19,7	0,99827	1,00006	20,7	0,99806	0,99985	21,7	0,99784	0,99963	22,7	0,99761	0,99940
19,8	0,99825	1,00004	20,8	0,99804	0,99983	21,8	0,99782	0,99961	22,8	0,99759	0,99938
19,9	0,99823	1,00002	20,9	0,99802	0,99981	21,9	0,99780	0,99959	22,9	0,99756	0,99936
23,0	0,99754	0,99933	24,0	0,99730	0,99909	25,0	0,99705	0,99884	26,0	0,99679	0,99858
23,1	0,99752	0,99931	24,1	0,99727	0,99907	25,1	0,99702	0,99881	26,1	0,99676	0,99855
23,2	0,99749	0,99929	24,2	0,99725	0,99904	25,2	0,99700	0,99879	26,2	0,99673	0,99852
23,3	0,99747	0,99926	24,3	0,99723	0,99902	25,3	0,99697	0,99876	26,3	0,99671	0,99850
23,4	0,99745	0,99924	24,4	0,99720	0,99899	25,4	0,99694	0,99874	26,4	0,99668	0,99847
23,5	0,99742	0,99921	24,5	0,99717	0,99897	25,5	0,99692	0,99871	26,5	0,99665	0,99844
23,6	0,99740	0,99919	24,6	0,99715	0,99894	25,6	0,99689	0,99868	26,6	0,99663	0,99842
23,7	0,99737	0,99917	24,7	0,99712	0,99892	25,7	0,99687	0,99866	26,7	0,99660	0,99839
23,8	0,99735	0,99914	24,8	0,99710	0,99889	25,8	0,99684	0,99863	26,8	0,99657	0,99836
23,9	0,99732	0,99912	24,9	0,99707	0,99887	25,9	0,99681	0,99860	26,9	0,99654	0,99833
27,0	0,99652	0,99831	28,0	0,99624	0,99803	29,0	0,99595	0,99774	30,0	0,99565	0,99744
27,1	0,99649	0,99828	28,1	0,99621	0,99800	29,1	0,99592	0,99771	30,1	0,99562	0,99741
27,2	0,99646	0,99825	28,2	0,99618	0,99797	29,2	0,99589	0,99768	30,2	0,99559	0,99738
27,3	0,99643	0,99822	28,3	0,99615	0,99794	29,3	0,99586	0,99765	30,3	0,99556	0,99735
27,4	0,99641	0,99820	28,4	0,99612	0,99791	29,4	0,99583	0,99762	30,4	0,99553	0,99732
27,5	0,99638	0,99817	28,5	0,99609	0,99788	29,5	0,99580	0,99759	30,5	0,99550	0,99729
27,6	0,99635	0,99814	28,6	0,99607	0,99785	29,6	0,99577	0,99756	30,6	0,99547	0,99726
27,7	0,99632	0,99811	28,7	0,99604	0,99783	29,7	0,99574	0,99753	30,7	0,99544	0,99723
27,8	0,99629	0,99808	28,8	0,99601	0,99780	29,8	0,99571	0,99750	30,8	0,99541	0,99720
27,9	0,99627	0,99806	28,9	0,99598	0,99777	29,9	0,99568	0,99747	30,9	0,99538	0,99716

- Gravedad específica y absorción de la arena triturada de Morro Blanco:

Ensayo N°1:

A=Peso de la muestra seca = 494.47 gr.

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 648.55 gr.

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 958.70 gr.

D= Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr.

K=0.99912

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \left(\frac{494.47}{648.55 + 500 - 958.7}\right)$$

$$Gsb = 2.605\ gr/cm3$$

$$Gsb\ corregido = 2.605 \frac{gr}{cm3} * K$$

$$Gsb\ corregido = 2.605 \frac{gr}{cm3} * 0.99912 = 2602\ gr/cm3$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{500}{648.55 + 500 - 958.7})$$

$$Gsssb = 2.634\ gr/cm3$$

$$Gsssb\ corregido = 2.634 \frac{gr}{cm3} * 0.99912 = 2.631\ \frac{gr}{cm3}$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{494.47}{648.55 + 494.47 - 958.70})$$

$$Gsa = 2.683\ gr/cm3$$

$$Gsa\ corregido = 2.683 \frac{gr}{cm3} * 0.99912 = 2.680\ \frac{gr}{cm3}$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{500 - 494.47}{500}\right) X100$$

$$Absorción\ (\%) = 1.118\ \%$$

Ensayo N°2:

A=Peso de la muestra seca = 493.22 gr.

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 648.55 gr.

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 959.60 gr.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

D= Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr.

K=0.99912

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \left(\frac{493.22}{648.55 + 500 - 959.60}\right)$$

$$Gsb = 2.610\ gr/cm3$$

$$Gsb\ corregido = 2.610\ \frac{gr}{cm3} * 0.99912 = 2.608\ gr/cm3$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{500}{648.55 + 500 - 959.60})$$

$$Gsssb = 2.646\ gr/cm3$$

$$Gsssb\ corregido = 2.646\ \frac{gr}{cm3} * 0.99912 = 2.644\ gr/cm3$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{493.22}{648.55 + 493.22 - 959.60})$$

$$Gsa = 2.708\ \ gr/cm3$$

$$Gsa\ corregido = 2.708\ \ \frac{gr}{cm3} * 0.99912 = 2.705 gr/cm3$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{500 - 493.22}{500}\right) X100$$

$$Absorción\ (\%) = 1.376\ \ \%$$

Ensayo N°3:

A=Peso de la muestra seca = 494.33 gr.

B=Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 648.55 gr.

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 958.60 gr.

D= Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

K=0.99912

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \left(\frac{494.33}{648.55 + 500 - 958.60}\right)$$

$$Gsb = 2.602\ gr/cm3$$

$$Gsb\ corregido = 2.602\ \frac{gr}{cm3} * 0.99912 = 2.600\ gr/cm3$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{500}{648.55 + 500 - 958.60})$$

$$Gsssb = 2.632gr/cm3$$

$$Gsssb\ corregido = 2.632\ \frac{gr}{cm3} * 0.99912 = 2.630\ gr/cm3$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{494.33}{648.55 + 494.33 - 958.6})$$

$$Gsa = 2.683\ gr/cm3$$

$$Gsa\ corregido = 2.683\ \frac{gr}{cm3} * 0.99912 = 2.680\ gr/cm3$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{500 - 494.33}{500}\right) X100$$

$$Absorción\ (\%) = 1.148\ \%$$

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 214

Resultados del ensayo de peso específico y absorción de agregados finos-Arena triturada de Morro Blanco

DESCRIPCIÓN	1	2	3	PROMEDIO	UNIDAD
Absorción (abs)	1.118	1.376	1.148	1.214	%
Gravedad Especifica Bulk (Gsb)	2.602	2.608	2.600	2.603	gr/cm3
Gravedad Específica SSS Bulk (Gsssb)	2.631	2.644	2.630	2.635	gr/cm3
Gravedad Especifica Aparente (Gsa)	2.680	2.705	2.680	2.689	gr/cm3

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis del ensayo

Tabla 215

Requerimientos de calidad para el ensayo de peso específico y absorción del agregado fino

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO
% Absorción (Según EG - 2013,MTC)	0.5 máximo
% Absorción (Según C.E 010 Pavimentos Urbanos,RNE)	Según diseño*
% Absorción (Resultado del ensayo-Arena natural de Cunyac)	1.59%
% Absorción (Resultado del ensayo-Arena triturada de Morro blanco)	1.21%

Nota. Fuente: Propia.

*Considerando a una altura >3.000 msnm

Como resultado del ensayo de Peso Específico de la Arena natural de Cunyac a 3 muestras se obtuvo como promedio del % de absorción 1.59 %, incumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también con la normativa C.E 010 Pavimentos Urbanos especificado en el RNE.

Asimismo, como resultado del ensayo de Peso Específico del Agregado fino triturado de Morro Blanco a 3 muestras se obtuvo como promedio del % de absorción 1.21 %, incumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también con la normativa C.E 010 Pavimentos Urbanos especificado en el RNE.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.2.3 Determinación limite líquido de los suelos (MTC E 110)

a) Cálculos del ensayo

No presenta.

3.6.2.4 Determinación limite plástico e índice de plasticidad (MTC E 111)

a) Cálculos del ensayo

Tabla 216

Resultado del ensayo de Límites de plasticidad-Arena natural de Cunyac

DESCRIPCIÓN	RESULTADO
Indice de plasticidad (Arena natural de Cunyac)	NP

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 217

Resultado del ensayo de Límites de plasticidad-Arena triturada de Morro Blanco

DESCRIPCIÓN	RESULTADO
Indice de plasticidad (Arena triturada de Morro Blanco)	NP

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis del ensayo

Tabla 218

Requerimientos de calidad para el índice de plasticidad

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO
% Indice de plasticidad (Según EG - 2013,MTC)	NP
% Indice de plasticidad (Según C.E 010 Pavimentos Urbanos,RNE)	NP
% Indice de plasticidad (Resultado del ensayo)	NP

Nota. Fuente: Propia.

Como resultado del ensayo de Determinación de índice de plasticidad de la Arena natural de Cunyac y de la arena triturada de Morro Blanco se obtuvo como no plástico, cumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también con la normativa C.E 010 Pavimentos Urbanos especificado en el RNE.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.2.5 Durabilidad al sulfato de Sodio y sulfato de Magnesio de los agregados finos (MTC E 209)

a) Cálculos del ensayo

a1) Arena natural de Cunyac

Tabla 219

Cálculo de durabilidad al sulfato de magnesio de los agregados finos - Arena natural de Cunyac

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDAS DE PESO		ESCALONADO ORIGINAL	PÉRDIDAS CORREGIDAS
ASTM	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	%		
3/8"-Nº 4	100.000	100.003	92.389	7.614	7.614	8.88	0.676
Nº 4 - N° 8	100.000	100.046	93.522	6.524	6.521	15.28	0.996
Nº 8 - N° 16	100.000	100.036	92.664	7.372	7.369	12.06	0.889
Nº 16 - N° 30	100.000	100.097	91.210	8.887	8.878	20.34	1.806
Nº 30 - N° 50	100.000	100.051	97.009	3.042	3.041	43.44	1.321
						PÉRDIDAS TOTALES	5.688

Nota. Fuente: Propia.

a2) Arena triturada de Morro Blanco

Tabla 220

Cálculo de durabilidad al sulfato de magnesio de los agregados finos- Morro Blanco

Nota. Fuente: Propia.

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDAS DE PESO		ESCALONADO ORIGINAL	PÉRDIDAS CORREGIDAS
ASTM	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	(Gr.)	%		
3/8"-Nº 4	100.000	100.094	89.941	10.153	10.143	16.78	1.702
Nº 4 - N° 8	100.000	100.024	88.963	11.061	11.058	30.1	3.329
Nº 8 - N° 16	100.000	100.039	86.523	13.516	13.511	21.69	2.930
Nº 16 - N° 30	100.000	100.091	91.560	8.531	8.523	16.31	1.390
Nº 30 - N° 50	100.000	100.087	89.330	10.757	10.748	15.12	1.625
						PÉRDIDAS TOTALES	10.976

b) Análisis del ensayo

Tabla 221

Requerimientos de calidad para el ensayo de durabilidad del agregado fino al sulfato de magnesio

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO
% Durabilidad al sulfato de Magnesio(Según EG - 2013,MTC)	18% máximo*
% Durabilidad al sulfato de Magnesio (Resultado del ensayo-Arena natural de Cunyac)	5.69%
% Durabilidad al sulfato de Magnesio (Resultado del ensayo-Arena triturada de Morro Blanco)	10.98%

Nota. Fuente: Propia.

*Considerando a una altura >3.000 msnm

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

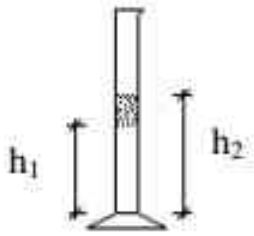
Como resultado del ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio de la arena natural de Cunyac se obtuvo como resultado 5.688%, cumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Asimismo, como resultado de Durabilidad al sulfato de magnesio de la arena triturada de Morro Blanco se obtuvo como resultado 10.976 %, cumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

3.6.2.6 Equivalente de arena (MTC E 114)

a) Cálculos del ensayo

Al finalizar el ensayo se consiguió dos datos:



h1: Lectura de arena

h2: Lectura de arcilla

Los cuales usaremos para obtener el porcentaje de equivalente de arena usando la siguiente formula:

$$E.A = \frac{h1}{h2} x100$$

Lo cual nos indica la cantidad de arena de nuestro agregado (a mayor porcentaje, mayor cantidad de arena y menos cantidad de finos).

a1) Arena natural de Cunyac

Muestra 1:

$$E.A = \frac{3.7}{4} X100 = 92.5\ \%$$

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Muestra 2:

$$E.A = \frac{3.8}{4} X100 = 95\%$$

Muestra 3:

$$E.A = \frac{3.75}{4.1} X100 = 91.46\ \%$$

Tabla 222

Resultados del ensayo de equivalente de arena -Arena natural de Cunyac

DESCRIPCIÓN	1	2	3	PROMEDIO	UNIDAD
Equivalente de arena	92.5	95	91.46	93.00	%

Nota. Fuente: Propia.

a2) Arena triturada de Morro Blanco

Muestra 1:

$$E.A = \frac{3.2}{8.4} X100 = 38.10\ \%$$

Muestra 2:

$$E.A = \frac{3.1}{8.1} X100 = 38.27\%$$

Muestra 3:

$$E.A = \frac{3.35}{7.1} X100 = 47.18\ \%$$

Tabla 223

Resultados del ensayo de equivalente de arena - Morro Blanco

DESCRIPCIÓN	1	2	3	PROMEDIO	UNIDAD
Equivalente de arena	38.1	38.27	47.18	41.18	%

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Análisis del ensayo

Tabla 224

Requerimientos de calidad para el ensayo de equivalente de arena

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO
% (Según EG - 2013,MTC)	70%*
% (Según C.E 010 Pavimentos Urbanos,RNE)	45%**
% (Resultado del ensayo-Arena natural de Cunyac)	93%
% (Resultado del ensayo-Arena triturada de Morro Blanco)	41.18%

Nota. Fuente: Propia.

*Considerando a una altura >3.000 msnm

**Considerando una vía local y colectora

Como resultado del ensayo de equivalente de arena de la arena natural de Cunyac se obtuvo como resultado 93%, cumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también con la normativa C.E 010 Pavimentos Urbanos especificado en el RNE.

Asimismo, Como resultado del ensayo de equivalente de arena de la arena triturada de Morro Blanco se obtuvo como resultado 41.18%, cumpliendo de esta forma con lo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, sin embargo, no cumple con la normativa C.E 010 Pavimentos Urbanos especificado en el RNE que exige un mínimo de 41.18%.

3.6.3 Ensayo a la combinación de agregados

3.6.3.1 Análisis granulométrico de combinación de agregados

a) Cálculos del ensayo

El procesamiento del ensayo de granulometría de agregado grueso de Morro Blanco, consiste en calcular los porcentajes que pasa en cada una de las mallas las cuales se determinaron por la gradación superpave 12.5 mm y MAC-2. Debiendo cumplir con los parámetros establecidos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 225

Cálculo de análisis granulométrico de la combinación de agregados por el método gráfico

MALLA ASTM	mm	PORCENTAJES PASANTES (%)					ESPECIFICACIONES					
CANTERA		MORRO BLANCO	MORRO BLANCO	CUNYAC	FILLER	MEZCLA AGREGADOS	MAC-2		SUPERPAVE			
AGREGADOS		PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA TRITURADA	ARENA FINA	CEMENTO PORTLAND		LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCIÓN	
PROPORCIONES		30.0%	47.0%	21.0%	2.0%	100.0%						
1"	25.40	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%						
3/4"	19.05	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100%	100%		100%		
1/2"	12.70	48.3%	100.0%	100.0%	100.0%	84.5%	80%	100%	90%	100%		
3/8"	9.53	23.3%	100.0%	100.0%	100.0%	77.0%	70%	88%				
Nº 4	4.76	0.0%	85.2%	93.9%	100.0%	61.8%	51%	68%				
Nº 8	2.36	0.0%	59.8%	84.2%	100.0%	47.8%			58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00	0.0%	55.5%	82.2%	100.0%	45.3%	38%	52%				
Nº 16	1.18	0.0%	43.1%	75.0%	100.0%	38.0%					25.6%	31.6%
Nº 30	0.60	0.0%	31.8%	59.8%	100.0%	29.5%					19.1%	23.1%
Nº 40	0.42	0.0%	26.4%	44.4%	100.0%	23.7%	17%	28%				
Nº 50	0.30	0.0%	21.2%	24.7%	100.0%	17.2%					15.5%	15.5%
Nº 80	0.18	0.0%	14.4%	7.5%	100.0%	10.3%	8%	17%				
Nº 100	0.15	0.0%	14.4%	7.5%	100.0%	10.3%						
Nº 200	0.07	0.0%	4.9%	1.0%	100.0%	4.5%	4%	8%	10%	2%		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 226

Comprobación de análisis granulométrico de la combinación de agregados por el método gráfico

CANTERA AGREGADOS PROPORCIÓN		MORRO BLANCO Y CUNYAC PIEDRA CHANCADA 1/2" + ARENA TRITURADA + ARENA FINA + FILLER AG 30% + AT 47% + AF 21% + FILLER 2%												ESPECIFICACIONES					
														MAC-2		SUPERPAVE			
MALLA		PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO 1 CORREGIDO	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO 2 CORREGIDO	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO 3 CORREGIDO	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCIÓN	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%						
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%				100.0%		
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1000.00	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	90.0%		
1/2"	12.70	178.50	178.60	135.40	135.41	140.50	140.63	151.55	15.15%	151.55	15.15%	848.45	84.8%	80.0%	100.0%				
3/8"	9.53	68.30	68.40	72.20	72.21	71.90	72.03	70.88	7.09%	222.42	22.24%	777.58	77.8%	70.0%	88.0%				
Nº 4	4.76	136.70	136.80	170.50	170.51	168.50	168.63	158.65	15.86%	381.07	38.11%	618.93	61.9%	51.0%	68.0%				
Nº 8	2.36	149.60	149.70	156.40	156.41	152.60	152.73	152.95	15.29%	534.02	53.40%	465.98	46.6%			49.0%	23.0%	34.6%	34.6%
Nº 10	2.00	25.70	25.80	27.00	27.01	25.90	26.03	26.28	2.63%	560.29	56.03%	439.71	44.0%	38.0%	52.0%				
Nº 16	1.18	74.00	74.10	77.50	77.51	74.80	74.93	75.51	7.55%	635.81	63.58%	364.19	36.4%					22.3%	28.3%
Nº 30	0.60	71.20	71.30	75.20	75.21	73.50	73.63	73.38	7.34%	709.18	70.92%	290.82	29.1%					16.7%	20.7%
Nº 40	0.42	50.30	50.40	50.10	50.11	50.10	50.23	50.25	5.02%	759.43	75.94%	240.57	24.1%	17.0%	28.0%				
Nº 50	0.30	70.50	70.60	67.80	67.81	68.50	68.63	69.01	6.90%	828.44	82.84%	171.56	17.2%					13.7%	13.7%
Nº 80	0.18	72.40	72.50	71.10	71.11	71.20	71.33	71.65	7.16%	900.09	90.01%	99.91	10.0%	8.0%	17.0%				
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	900.09	90.01%	99.91	10.0%						
Nº 200	0.07	52.10	52.20	49.10	49.11	51.80	51.93	51.08	5.11%	951.17	95.12%	48.83	4.9%	4.0%	8.0%	8.0%	2.0%		
Fondo	-	49.60	49.60	47.60	47.60	49.30	49.30	48.83	4.88%	1000.00	100.00%	0.00	0.0%						
TOTAL	-	998.90	1000.00	999.90	1000.00	998.60	1000.00	1000.00	100.00%										

Nota. Fuente: Propia.

Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	**1000.00**	**gr**	**PESO INICIAL 2=**	**1000.00**	**gr**	**PESO INICIAL 3=**	**1000.00**	**gr**
MAT. PERDIDO 1=	**1.10**	**gr**	**MAT. PERDIDO 2=**	**0.10**	**gr**	**MAT. PERDIDO 3=**	**1.40**	**gr**
ERROR (%) 1 =	**0.11**	**%**	**ERROR (%) 2 =**	**0.01**	**%**	**ERROR (%) 3=**	**0.14**	**%**
CORRECCIÓN 1=	**0.10**	**gr**	**CORRECCIÓN 2=**	**0.01**	**gr**	**CORRECCIÓN 3 =**	**0.13**	**gr**

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

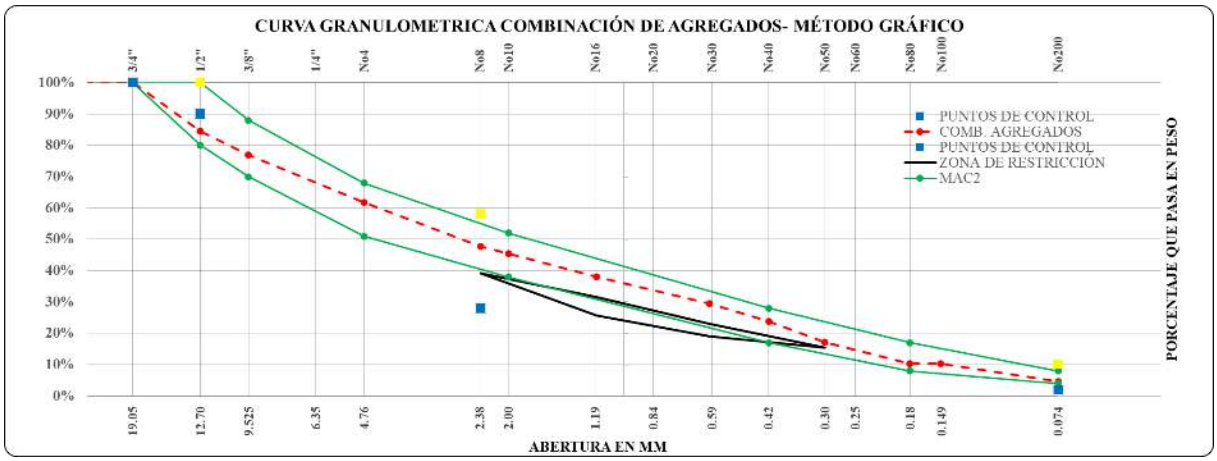


Figura 200. Curva granulométrica de la combinación de agregados por el método gráfico.

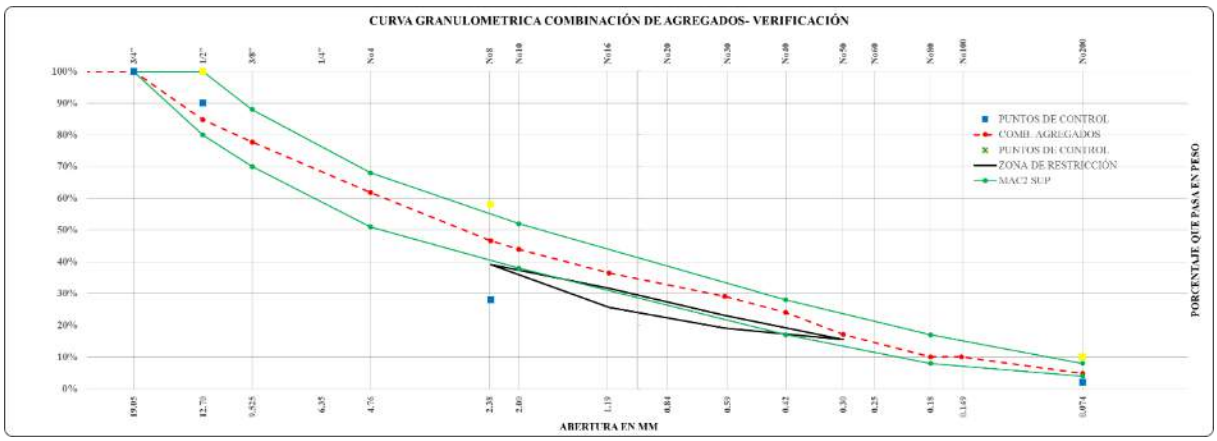


Figura 201. Curva granulométrica de la verificación de la combinación de agregados.

b) Análisis del ensayo

Como se distingue en la tabla, los porcentajes que pasan resultado de la combinación de agregados en los porcentajes seleccionados cumplen con las especificaciones de distribución granulométrica MAC-2 dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC).

Asimismo, se distingue en la tabla, los porcentajes que pasan resultado de la combinación de agregados en los porcentajes seleccionados no cumple con las especificaciones de distribución granulométrica según diseño Superpave 12.5 mm.

3.6.4 Ensayo de calidad al cemento asfáltico

3.6.4.1 Penetración de los materiales bituminosos (MTC E 304)

a) Cálculos del ensayo

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 227

Resultados del ensayo de penetración de materiales bituminosos

DESCRIPCIÓN	1	2	3	PROMEDIO	UNIDAD
Penetración	126.67	124.33	124.33	125.11	PEN

Nota. Fuente: Propia.

Para juzgar la aceptabilidad de los resultados, se realiza la verificación de las lecturas de penetración. De acuerdo a la normativa ASTM D5 y MTC E304, la diferencia entre el valor más alto y el más bajo no debe ser más de 4 puntos en el rango de 50 a 149 décimas de mm. Cumpliendo con la condición.

b) Análisis del ensayo

Tabla 228

Requerimientos de calidad para el ensayo de penetración de materiales bituminosos

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO
% Penetración a 25°(Según EG - 2013,MTC)	120-150
% Penetración a 25°(Según C.E 010 Pavimentos Urbanos,RNE)	120-150
% Penetración a 25°(Resultado del ensayo)	125.11

Nota. Fuente: Propia.

El valor de penetración del cemento asfáltico PEN 120-150 obtenido del ensayo realizado a 25°C, cumple con los requerimientos indicados por el Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG-2013, en el cual se indica que como mínimo debe ser 120 y como máximo 150.

3.6.5 Ensayo de calidad a los adicionantes

3.6.5.1 Granulometría del Granos de neumáticos reciclados (GNR)

a) Cálculos del ensayo

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 229

Cálculo de análisis granulométrico de Granos de neumáticos reciclados (GNR) según MAC-2

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	MAC-2	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%		
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	100%	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	80%	100%
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	70%	88%
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	51%	68%
Nº 8	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%		
Nº 10	2.00	97.30	97.44	98.50	98.60	96.50	96.68	97.58	32.53%	97.58	32.53%	202.42	67.5%	38%	52%
Nº 16	1.18	110.50	110.64	113.70	113.80	110.80	110.98	111.81	37.27%	209.38	69.79%	90.62	30.2%		
Nº 30	0.60	29.80	29.94	24.71	24.81	29.71	29.89	28.22	9.41%	237.60	79.20%	62.40	20.8%		
Nº 40	0.42	27.30	27.44	28.60	28.70	30.80	30.98	29.04	9.68%	266.64	88.88%	33.36	11.1%	17%	28%
Nº 50	0.30	11.20	11.34	11.40	11.50	10.80	10.98	11.28	3.76%	277.92	92.64%	22.08	7.4%		
Nº 80	0.18	11.40	11.54	11.70	11.80	9.30	9.48	10.94	3.65%	288.86	96.29%	11.14	3.7%	8%	17%
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	288.86	96.29%	11.14	3.7%		
Nº 200	0.07	9.80	9.94	8.80	8.90	8.70	8.88	9.24	3.08%	298.10	99.37%	1.90	0.6%	4%	8%
Fondo	-	1.70	1.70	1.90	1.90	2.10	2.10	1.90	0.63%	300.00	100.00%	0.00	0.0%		
TOTAL	-	299.00	300.00	299.31	300.00	298.71	300.00	300.00	100%						

Nota. Fuente: Propia.

Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	**300.00**	**gr**	**PESO INICIAL 2=**	**300.00**	**gr**	**PESO INICIAL 3=**	**300.00**	**gr**
MAT. PERDIDO 1=	**1.00**	**gr**	**MAT. PERDIDO 2=**	**0.69**	**gr**	**MAT. PERDIDO 3=**	**1.29**	**gr**
ERROR (%) 1 =	**0.333**	**%**	**ERROR (%) 2 =**	**0.23**	**%**	**ERROR (%) 3=**	**0.43**	**%**
CORRECCIÓN 1=	**0.143**	**gr**	**CORRECCIÓN 2=**	**0.10**	**gr**	**CORRECCIÓN 3 =**	**0.18**	**gr**

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 230

Cálculo de análisis granulométrico del Granos de neumáticos reciclados (GNR) según diseño Superpave

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES			
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCIÓN	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%		100%		
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	90%	100%		
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%				
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%				
Nº 8	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00	97.30	97.44	98.50	98.60	96.50	96.68	97.58	32.53%	97.58	32.53%	202.42	67.5%				
Nº 16	1.18	110.50	110.64	113.70	113.80	110.80	110.98	111.81	37.27%	209.38	69.79%	90.62	30.2%			25.6%	31.6%
Nº 30	0.60	29.80	29.94	24.71	24.81	29.71	29.89	28.22	9.41%	237.60	79.20%	62.40	20.8%			19.1%	23.1%
Nº 40	0.42	27.30	27.44	28.60	28.70	30.80	30.98	29.04	9.68%	266.64	88.88%	33.36	11.1%				
Nº 50	0.30	11.20	11.34	11.40	11.50	10.80	10.98	11.28	3.76%	277.92	92.64%	22.08	7.4%			15.5%	15.5%
Nº 80	0.18	11.40	11.54	11.70	11.80	9.30	9.48	10.94	3.65%	288.86	96.29%	11.14	3.7%				
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	288.86	96.29%	11.14	3.7%				
Nº 200	0.07	9.80	9.94	8.80	8.90	8.70	8.88	9.24	3.08%	298.10	99.37%	1.90	0.6%	10%	2%		
Fondo	-	1.70	1.70	1.90	1.90	2.10	2.10	1.90	0.63%	300.00	100.00%	0.00	0.0%				
TOTAL	-	299.00	300.00	299.31	300.00	298.71	300.00	300.00	100%								

Nota. Fuente: Propia.

Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	300.00	gr	PESO INICIAL 2=	300.00	gr	PESO INICIAL 3=	300.00	gr
MAT. PERDIDO 1=	1.00	gr	MAT. PERDIDO 2=	0.69	gr	MAT. PERDIDO 3=	1.29	gr
ERROR (%) 1 =	0.33	%	ERROR (%) 2 =	0.23	%	ERROR (%) 3=	0.43	%
CORRECCIÓN 1=	0.14	gr	CORRECCIÓN 2=	0.10	gr	CORRECCIÓN 3 =	0.18	gr

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 202. Curva granulométrica de Granos de neumáticos reciclados (GNR) -MAC.

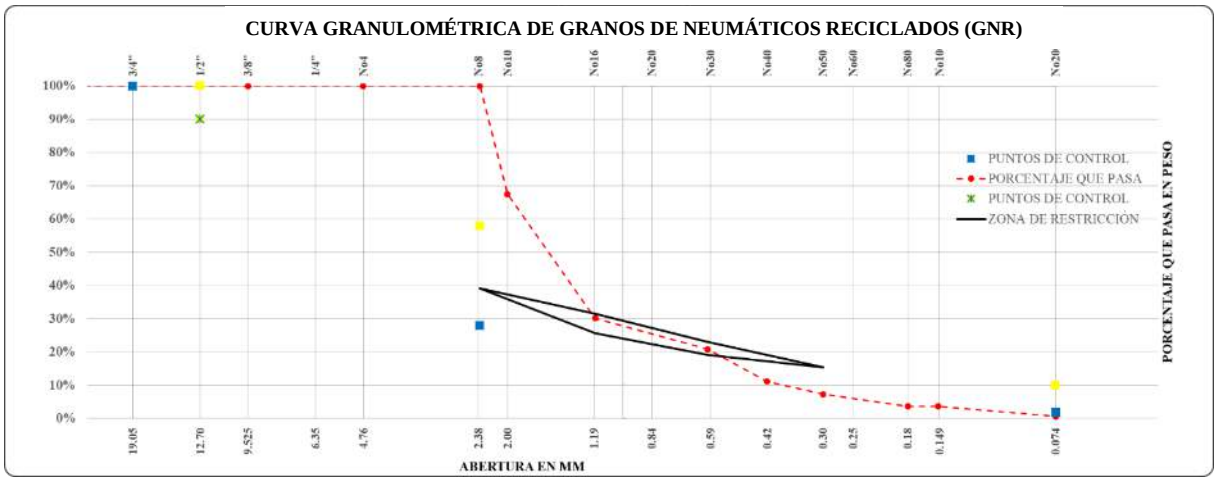


Figura 203. Curva granulométrica de Granos de neumáticos reciclados (GNR) -SUPERPAVE.

b) Análisis del ensayo

Como se distingue en la tabla, los porcentajes que pasan del Granos de neumáticos reciclados (GNR), no cumplen con las especificaciones de distribución granulométrica MAC-2 dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC).

Asimismo, se distingue en la tabla, que los porcentajes que pasan de Granos de neumáticos reciclados (GNR), no cumplen con las especificaciones de distribución granulométrica según SUPERPAVE.

3.6.5.2 Peso específico de Granos de neumáticos reciclados (GNR)

a) Cálculos del ensayo

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

El ensayo se realizó usando el mismo método que para el agregado grueso debido existían partículas de mayor tamaño al tamiz #4, se realizó 3 veces para poder obtener un promedio y de esta forma tener un resultado más preciso.

Las fórmulas usadas serán las siguientes:

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

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

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{B}{B-C})$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{A}{A-C})$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{B-A}{A}\right) X100$$

Tabla 231

Cálculos del ensayo de Peso Específico de Granos de neumáticos reciclados

PESOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra seca	gr	1000	1000	1000	1000
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	gr	1004.8	1003.7	1003.5	1004
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada	gr	80.9	79.4	79.6	79.97
	Peso específico de masa bulk (Gsb)	gr/cm3	1.082	1.082	1.082	1.082
	Peso específico de masa saturada con superficie seca (Gsss)	gr/cm3	1.088	1.086	1.086	1.087
	Peso específico aparente (Gsa)	gr/cm3	1.088	1.086	1.086	1.087
	Absorción	%	0.48	0.37	0.35	0.4

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis del ensayo

El valor de absorción obtenido del ensayo realizado, cumple con los requerimientos indicados por el manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG-2013, en el cual se indica que el porcentaje de absorción será como máximo 0.50 %.

3.6.5.3 Granulometría de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR).

a) Cálculos del ensayo

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 232

Cálculo de análisis granulométrico de BPTR según MAC-2

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	MAC-2	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%		
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	100%	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	80%	100%
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	70%	88%
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	51%	68%
Nº 8	2.36	15.80	16.21	12.40	12.84	11.80	12.13	13.73	4.58%	13.73	4.58%	286.28	95.4%		
Nº 10	2.00	64.30	64.71	68.50	68.94	66.50	66.83	66.83	22.28%	80.55	26.85%	219.45	73.2%	38%	52%
Nº 16	1.18	46.90	47.31	44.50	44.94	46.10	46.43	46.23	15.41%	126.78	42.26%	173.23	57.7%		
Nº 30	0.60	88.70	89.11	84.20	84.64	84.60	84.93	86.23	28.74%	213.00	71.00%	87.00	29.0%		
Nº 40	0.42	32.20	32.61	33.80	34.24	37.90	38.23	35.03	11.68%	248.03	82.68%	51.98	17.3%	17%	28%
Nº 50	0.30	22.50	22.91	24.70	25.14	21.40	21.73	23.26	7.75%	271.28	90.43%	28.72	9.6%		
Nº 80	0.18	15.40	15.81	17.60	18.04	18.10	18.43	17.43	5.81%	288.71	96.24%	11.29	3.8%	8%	17%
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	288.71	96.24%	11.29	3.8%		
Nº 200	0.07	7.40	7.81	7.60	8.04	7.10	7.43	7.76	2.59%	296.47	98.82%	3.53	1.2%	4%	8%
Fondo	-	3.50	3.50	3.20	3.20	3.90	3.90	3.53	1.18%	300.00	100.00%	0.00	0.0%		
TOTAL	-	**296.70**	**300.00**	**296.50**	**300.00**	**297.40**	**300.00**	**300.00**	**100%**						

Nota. Fuente: Propia.

Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	**300.00 gr**	**PESO INICIAL 2=**	**300.00 gr**	**PESO INICIAL 3=**	**300.00 gr**
MAT. PERDIDO 1=	**3.30 gr**	**MAT. PERDIDO 2=**	**3.50 gr**	**MAT. PERDIDO 3=**	**2.60 gr**
ERROR (%) 1 =	**1.10 %**	**ERROR (%) 2 =**	**1.17 %**	**ERROR (%) 3=**	**0.87 %**
CORRECCIÓN 1=	**0.41 gr**	**CORRECCIÓN 2=**	**0.44 gr**	**CORRECCIÓN 3 =**	**0.32 gr**

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco

Repositorio Digital

Tabla 233

Cálculo de análisis granulométrico de BPTR según SUPERPAVE 12.5 mm.

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES			
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	PUNTOS DE CONTROL		ZONA DE RESTRICCIÓN	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%		100%		
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%	90%	100%		
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%				
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	300.00	100.0%				
Nº 8	2.36	15.80	16.21	12.40	12.84	11.80	12.13	13.73	4.58%	13.73	4.58%	286.28	95.4%	58%	28%	39.1%	39.1%
Nº 10	2.00	64.30	64.71	68.50	68.94	66.50	66.83	66.83	22.28%	80.55	26.85%	219.45	73.2%				
Nº 16	1.18	46.90	47.31	44.50	44.94	46.10	46.43	46.23	15.41%	126.78	42.26%	173.23	57.7%			25.6%	31.6%
Nº 30	0.60	88.70	89.11	84.20	84.64	84.60	84.93	86.23	28.74%	213.00	71.00%	87.00	29.0%			19.1%	23.1%
Nº 40	0.42	32.20	32.61	33.80	34.24	37.90	38.23	35.03	11.68%	248.03	82.68%	51.98	17.3%				
Nº 50	0.30	22.50	22.91	24.70	25.14	21.40	21.73	23.26	7.75%	271.28	90.43%	28.72	9.6%			15.5%	15.5%
Nº 80	0.18	15.40	15.81	17.60	18.04	18.10	18.43	17.43	5.81%	288.71	96.24%	11.29	3.8%				
Nº 100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	288.71	96.24%	11.29	3.8%				
Nº 200	0.07	7.40	7.81	7.60	8.04	7.10	7.43	7.76	2.59%	296.47	98.82%	3.53	1.2%	10%	2%		
Fondo	-	3.50	3.50	3.20	3.20	3.90	3.90	3.53	1.18%	300.00	100.00%	0.00	0.0%				
TOTAL	-	296.70	300.00	296.50	300.00	297.40	300.00	300.00	100%								

Nota. Fuente: Propia.

Correcciones:

PESO INICIAL 1 =	300.00 gr	PESO INICIAL 2=	300.00 gr	PESO INICIAL 3=	300.00 gr
MAT. PERDIDO 1=	3.30 gr	MAT. PERDIDO 2=	3.50 gr	MAT. PERDIDO 3=	2.60
ERROR (%) 1 =	1.10 %	ERROR (%) 2 =	1.17 %	ERROR (%) 3=	0.87 %
CORRECCIÓN 1=	0.41 gr	CORRECCIÓN 2=	0.44 gr	CORRECCIÓN 3 =	0.32 gr

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

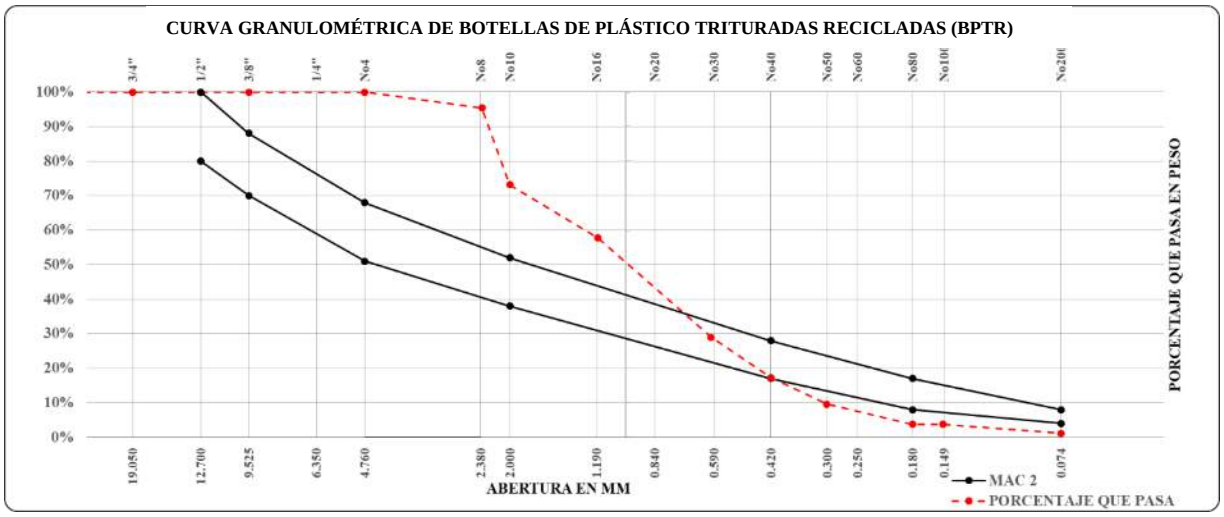


Figura 204. Curva granulométrica de botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) -MAC.

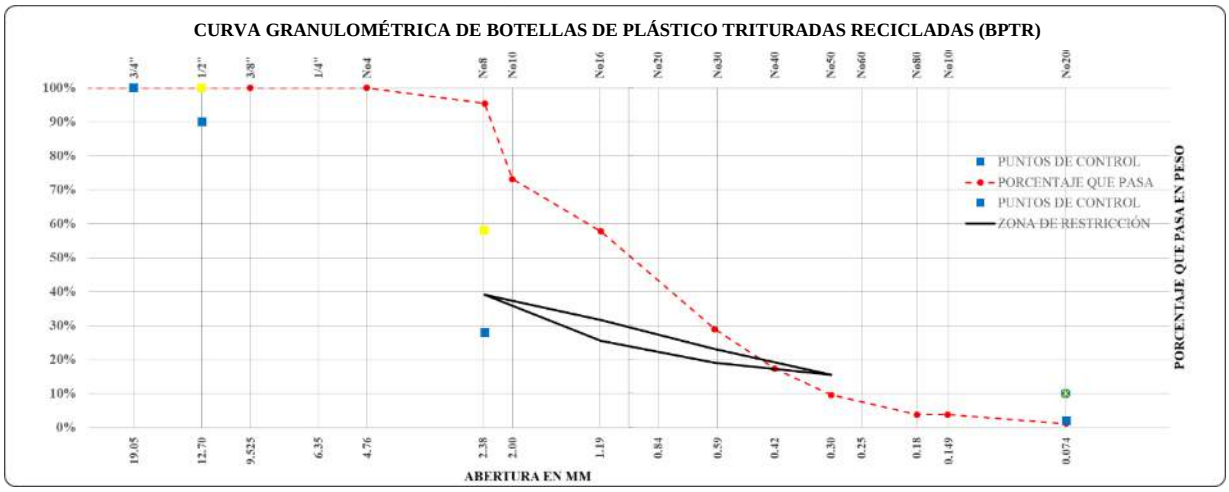


Figura 205. Curva granulométrica de botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) -SUPERPAVE.

b) Análisis del ensayo

Como se distingue en la tabla, los porcentajes que pasan de las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR), no cumplen con las especificaciones de distribución granulométrica MAC-2 dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC).

Asimismo, se distingue en la tabla, que los porcentajes que pasan de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR), no cumplen con las especificaciones de distribución granulométrica según SUPERPAVE 12.5 mm.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.5.4 Peso específico de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR).

a) Cálculos del ensayo

El ensayo se realizó usando el mismo método que para el agregado grueso debido existían partículas de mayor tamaño al tamiz #4, se realizó 3 veces para poder obtener un promedio y de esta forma tener un resultado más preciso.

Las fórmulas usadas serán las siguientes:

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

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

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb):

$$Gsssb = (\frac{B}{B - C})$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = (\frac{A}{A - C})$$

Absorción (%):

$$Absorción\ (\%) = \left(\frac{B - A}{A}\right) X100$$

Tabla 234
Cálculo del peso específico del BPTR

PESOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra seca	gr	100	100	100	100
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	gr	100	100	100	100
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada	gr	19.2	19	19.5	19.23
	Peso específico de masa bulk (Gsb)	gr/cm3	1.238	1.235	1.242	1.238
	Peso específico de masa saturada con superficie seca (Gsss)	gr/cm3	1.238	1.235	1.242	1.238
	Peso específico aparente (Gsa)	gr/cm3	1.238	1.235	1.242	1.238
	Absorción	%	0	0	0	0

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis del ensayo

El valor de absorción obtenido del ensayo realizado, cumple con los requerimientos indicados por el manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG-2013, en el cual se indica que el porcentaje de absorción será como máximo 0.50 %.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6 Control de calidad del diseño de mezcla asfáltica convencional

3.6.6.1 Dosificación de mezclas asfálticas convencionales

3.6.6.1.1 Dosificación de mezclas asfálticas convencionales al 4% de cemento asfáltico

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 235

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 4% de cemento asfáltico

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.80%	345.60
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	45.12%	541.44
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	20.16%	241.92
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.92%	23.04
Cemento ASFÁLTICO: PEN 120/150	4.00%	4.00%	48.00
TOTALES	**100% + 4% C.A.**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 236

Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	178.56	-	-	-
3/8"	**9.53**	86.45	-	-	-
Nº 4	**4.76**	80.59	80.07	14.69	-
Nº 8	**2.36**	-	137.57	23.55	-
Nº 10	**2.00**	-	23.53	4.74	-
Nº 16	**1.18**	-	66.82	17.57	-
Nº 30	**0.60**	-	61.25	36.66	-
Nº 40	**0.42**	-	29.21	37.18	-
Nº 50	**0.30**	-	28.08	47.90	-
Nº 80	**0.18**	-	36.88	41.52	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	51.48	15.62	-
Fondo	-	-	26.55	2.50	23.04

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.1.2 Dosificación de mezclas asfálticas convencionales al 4.5 % de cemento asfaltico

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 237

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 4.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.65%	343.80
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	44.89%	538.62
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	20.06%	240.66
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.91%	22.92
Cemento ASFÁLTICO: PEN 120/150	4.50%	4.50%	54.00
TOTALES	**100% + 4.5% C.A.**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 238

Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	177.63	-	-	-
3/8"	**9.53**	86.00	-	-	-
Nº 4	**4.76**	80.17	79.65	14.61	-
Nº 8	**2.36**	-	136.86	23.43	-
Nº 10	**2.00**	-	23.41	4.72	-
Nº 16	**1.18**	-	66.47	17.48	-
Nº 30	**0.60**	-	60.93	36.47	-
Nº 40	**0.42**	-	29.06	36.99	-
Nº 50	**0.30**	-	27.93	47.65	-
Nº 80	**0.18**	-	36.69	41.30	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	51.21	15.54	-
Fondo	-	-	26.41	2.48	22.92

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.1.3 Dosificación de mezclas asfálticas convencionales al 5 % de cemento asfaltico

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 239

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 5% de cemento asfáltico

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.50%	342.00
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	44.65%	535.80
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.95%	239.40
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.90%	22.80
Cemento ASFÁLTICO: PEN 120/150	5.00%	5.00%	60.00
TOTALES	**100% + 5% C.A.**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 240

Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	176.70	-	-	-
3/8"	**9.53**	85.55	-	-	-
Nº 4	**4.76**	79.75	79.23	14.53	-
Nº 8	**2.36**	-	136.14	23.31	-
Nº 10	**2.00**	-	23.28	4.69	-
Nº 16	**1.18**	-	66.12	17.39	-
Nº 30	**0.60**	-	60.61	36.28	-
Nº 40	**0.42**	-	28.91	36.79	-
Nº 50	**0.30**	-	27.78	47.40	-
Nº 80	**0.18**	-	36.50	41.08	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	50.94	15.46	-
Fondo	**-**	-	26.28	2.47	22.80

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.1.4 Dosificación de mezclas asfálticas convencionales al 5.5 % de cemento asfaltico

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 241

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 5.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.35%	340.20
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	44.42%	532.98
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.85%	238.14
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.89%	22.68
Cemento ASFÁLTICO: PEN 120/150	5.50%	5.50%	66.00
TOTALES	**100% + 5.5% C.A.**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 242

Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	175.77	-	-	-
3/8"	**9.53**	85.10	-	-	-
Nº 4	**4.76**	79.33	78.82	14.46	-
Nº 8	**2.36**	-	135.42	23.18	-
Nº 10	**2.00**	-	23.16	4.67	-
Nº 16	**1.18**	-	65.78	17.30	-
Nº 30	**0.60**	-	60.29	36.09	-
Nº 40	**0.42**	-	28.76	36.60	-
Nº 50	**0.30**	-	27.64	47.15	-
Nº 80	**0.18**	-	36.30	40.87	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	50.67	15.38	-
Fondo	**-**	-	26.14	2.46	22.68

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.1.5 Dosificación de mezclas asfálticas convencionales al 6 % de cemento asfaltico

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 243

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 6% de cemento asfáltico

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.20%	338.40
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	44.18%	530.16
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.74%	236.88
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.88%	22.56
Cemento ASFÁLTICO: PEN 120/150	6.00%	6.00%	72.00
TOTALES	**100% + 6% C.A.**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 244

Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	174.84	-	-	-
3/8"	**9.53**	84.65	-	-	-
Nº 4	**4.76**	78.91	78.40	14.38	-
Nº 8	**2.36**	-	134.71	23.06	-
Nº 10	**2.00**	-	23.04	4.64	-
Nº 16	**1.18**	-	65.43	17.20	-
Nº 30	**0.60**	-	59.97	35.90	-
Nº 40	**0.42**	-	28.60	36.40	-
Nº 50	**0.30**	-	27.49	46.90	-
Nº 80	**0.18**	-	36.11	40.65	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	50.40	15.29	-
Fondo	**-**	-	26.00	2.45	22.56

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.1.6 Dosificación de mezclas asfálticas convencionales al 6.5 % de cemento asfaltico

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 245

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 6.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.05%	336.60
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	43.95%	527.34
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.64%	235.62
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.87%	22.44
Cemento ASFÁLTICO: PEN 120/150	6.50%	6.50%	78.00
TOTALES	**100% + 6.5% C.A.**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 246

Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	173.91	-	-	-
3/8"	**9.53**	84.20	-	-	-
Nº 4	**4.76**	78.49	77.98	14.30	-
Nº 8	**2.36**	-	133.99	22.94	-
Nº 10	**2.00**	-	22.92	4.62	-
Nº 16	**1.18**	-	65.08	17.11	-
Nº 30	**0.60**	-	59.65	35.71	-
Nº 40	**0.42**	-	28.45	36.21	-
Nº 50	**0.30**	-	27.35	46.65	-
Nº 80	**0.18**	-	35.92	40.44	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	50.14	15.21	-
Fondo	**-**	-	25.86	2.43	22.44

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.1.7 Dosificación de mezclas asfálticas convencionales al 7 % de cemento asfáltico

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 247

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional al 7% de cemento asfáltico

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	27.90%	334.80
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	43.71%	524.52
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.53%	234.36
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.86%	22.32
Cemento ASFÁLTICO: PEN 120/150	7.00%	7.00%	84.00
TOTALES	**100% + 7% C.A.**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 248

Dosificación de agregados de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	172.98	-	-	-
3/8"	**9.53**	83.75	-	-	-
Nº 4	**4.76**	78.07	77.57	14.23	-
Nº 8	**2.36**	-	133.27	22.82	-
Nº 10	**2.00**	-	22.79	4.59	-
Nº 16	**1.18**	-	64.73	17.02	-
Nº 30	**0.60**	-	59.34	35.52	-
Nº 40	**0.42**	-	28.30	36.02	-
Nº 50	**0.30**	-	27.20	46.40	-
Nº 80	**0.18**	-	35.73	40.22	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	49.87	15.13	-
Fondo	**-**	-	25.72	2.42	22.32

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.2 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales

3.6.6.2.1 Análisis de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales al 4 % de cemento asfáltico

a) Cálculos del ensayo

Tabla 249

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.670	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 250

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.616	2.697

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 251

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1177.10	1179.40	663.10	2.280
MUESTRA 2	1181.60	1184.40	665.80	2.278
MUESTRA 3	1184.40	1186.60	673.20	2.307
MUESTRA 4	1162.60	1166.10	650.00	2.253
MUESTRA 5	1174.70	1178.30	652.80	2.235

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 252

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	4.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.495
MUESTRA 2	4.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.495
MUESTRA 3	4.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.495
MUESTRA 4	4.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.495
MUESTRA 5	4.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.495

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 253

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.280	2.495	8.629
MUESTRA 2	2.278	2.495	8.687
MUESTRA 3	2.307	2.495	7.543
MUESTRA 4	2.253	2.495	9.720
MUESTRA 5	2.235	2.495	10.412

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 254

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	4.00	2.616	2.280	16.349
MUESTRA 2	4.00	2.616	2.278	16.402
MUESTRA 3	4.00	2.616	2.307	15.355
MUESTRA 4	4.00	2.616	2.253	17.348
MUESTRA 5	4.00	2.616	2.235	17.981

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 255

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	4.00	16.349	47.220
MUESTRA 2	4.00	16.402	47.039
MUESTRA 3	4.00	15.355	50.875
MUESTRA 4	4.00	17.348	43.971
MUESTRA 5	4.00	17.981	42.097

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 256

Gravedad específica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	4.00	1.014	2.495	2.657
MUESTRA 2	4.00	1.014	2.495	2.657
MUESTRA 3	4.00	1.014	2.495	2.657
MUESTRA 4	4.00	1.014	2.495	2.657
MUESTRA 5	4.00	1.014	2.495	2.657

Nota. Fuente: Propia.

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 257

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1 **MUESTRA 2** **MUESTRA 3** **MUESTRA 4** **MUESTRA 5**	2.697	2.657	2.616	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 258

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/ (100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/(100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.495	2.280	8.629	2.495	CUMPLE
MUESTRA 2	2.495	2.278	8.687	2.495	CUMPLE
MUESTRA 3	2.495	2.307	7.543	2.495	CUMPLE
MUESTRA 4	2.495	2.253	9.720	2.495	CUMPLE
MUESTRA 5	2.495	2.235	10.412	2.495	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 259

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER)	100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)	VERIFICACIÓN 100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)=VMA
MUESTRA 1	16.349	2.280	2.616	96.00	16.349	CUMPLE
MUESTRA 2	16.402	2.278	2.616	96.00	16.402	CUMPLE
MUESTRA 3	15.355	2.307	2.616	96.00	15.355	CUMPLE
MUESTRA 4	17.348	2.253	2.616	96.00	17.348	CUMPLE
MUESTRA 5	17.981	2.235	2.616	96.00	17.981	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

3.6.6.2.2 Análisis de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales al 4.5 % de cemento asfáltico

a) Cálculos del ensayo

Tabla 260

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.670	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 261

Gravedad específica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 4.5%

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.616	2.697

de cemento asfáltico

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 262

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1168.90	1171.20	657.50	2.275
MUESTRA 2	1182.60	1184.10	674.20	2.319
MUESTRA 3	1169.10	1170.70	662.20	2.299
MUESTRA 4	1157.30	1159.00	645.50	2.254
MUESTRA 5	1167.90	1168.10	664.90	2.321

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 263

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	4.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.476
MUESTRA 2	4.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.476
MUESTRA 3	4.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.476
MUESTRA 4	4.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.476
MUESTRA 5	4.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.476

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 264

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.275	2.476	8.113
MUESTRA 2	2.319	2.476	6.343
MUESTRA 3	2.299	2.476	7.157
MUESTRA 4	2.254	2.476	8.989
MUESTRA 5	2.321	2.476	6.276

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 265

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	4.50	2.616	2.275	16.947
MUESTRA 2	4.50	2.616	2.319	15.347
MUESTRA 3	4.50	2.616	2.299	16.083
MUESTRA 4	4.50	2.616	2.254	17.739
MUESTRA 5	4.50	2.616	2.321	15.286

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 266

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	4.00	16.947	52.128
MUESTRA 2	4.00	15.347	58.670
MUESTRA 3	4.00	16.083	55.498
MUESTRA 4	4.00	17.739	49.325
MUESTRA 5	4.00	15.286	58.946

4.5% de cemento asfáltico

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 267

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	4.50	1.014	2.476	2.657
MUESTRA 2	4.50	1.014	2.476	2.657
MUESTRA 3	4.50	1.014	2.476	2.657
MUESTRA 4	4.50	1.014	2.476	2.657
MUESTRA 5	4.50	1.014	2.476	2.657

Nota. Fuente: Propia.

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 268

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1 **MUESTRA 2** **MUESTRA 3** **MUESTRA 4** **MUESTRA 5**	2.697	2.657	2.616	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 269

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/ (100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/ (100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.476	2.275	8.113	2.476	CUMPLE
MUESTRA 2	2.476	2.319	6.343	2.476	CUMPLE
MUESTRA 3	2.476	2.299	7.157	2.476	CUMPLE
MUESTRA 4	2.476	2.254	8.989	2.476	CUMPLE
MUESTRA 5	2.476	2.321	6.276	2.476	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 270

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER)	100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)	VERIFICACIÓN 100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)=VMA
MUESTRA 1	16.947	2.275	2.616	95.50	16.947	CUMPLE
MUESTRA 2	15.347	2.319	2.616	95.50	15.347	CUMPLE
MUESTRA 3	16.083	2.299	2.616	95.50	16.083	CUMPLE
MUESTRA 4	17.739	2.254	2.616	95.50	17.739	CUMPLE
MUESTRA 5	15.286	2.321	2.616	95.50	15.286	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

3.6.6.2.3 Análisis de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales al 5 % de cemento asfáltico

a) Cálculos del ensayo

Tabla 271

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.670	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 272

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.616	2.697

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 273

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1188.80	1190.10	682.70	2.343
MUESTRA 2	1182.10	1185.00	677.20	2.328
MUESTRA 3	1174.70	1174.80	674.00	2.346
MUESTRA 4	1172.70	1173.70	659.90	2.282
MUESTRA 5	1171.10	1172.30	667.60	2.320

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 274

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	5.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.458
MUESTRA 2	5.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.458
MUESTRA 3	5.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.458
MUESTRA 4	5.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.458
MUESTRA 5	5.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.458

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 275

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltica.

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.343	2.458	4.674
MUESTRA 2	2.328	2.458	5.286
MUESTRA 3	2.346	2.458	4.563
MUESTRA 4	2.282	2.458	7.136
MUESTRA 5	2.320	2.458	5.591

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 276

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	5.00	2.616	2.343	14.932
MUESTRA 2	5.00	2.616	2.328	15.478
MUESTRA 3	5.00	2.616	2.346	14.833
MUESTRA 4	5.00	2.616	2.282	17.129
MUESTRA 5	5.00	2.616	2.320	15.750

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 277

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	4.00	14.932	68.700
MUESTRA 2	4.00	15.478	65.850
MUESTRA 3	4.00	14.833	69.238
MUESTRA 4	4.00	17.129	58.340
MUESTRA 5	4.00	15.750	64.504

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 278

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	5.00	1.014	2.458	2.657
MUESTRA 2	5.00	1.014	2.458	2.657
MUESTRA 3	5.00	1.014	2.458	2.657
MUESTRA 4	5.00	1.014	2.458	2.657
MUESTRA 5	5.00	1.014	2.458	2.657

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 279

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1 **MUESTRA 2** **MUESTRA 3** **MUESTRA 4** **MUESTRA 5**	2.697	2.657	2.616	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 280

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/ (100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/ (100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.458	2.343	4.674	2.458	CUMPLE
MUESTRA 2	2.458	2.328	5.286	2.458	CUMPLE
MUESTRA 3	2.458	2.346	4.563	2.458	CUMPLE
MUESTRA 4	2.458	2.282	7.136	2.458	CUMPLE
MUESTRA 5	2.458	2.320	5.591	2.458	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 281

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER)	100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)	VERIFICACIÓN 100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)=VMA
MUESTRA 1	14.932	2.343	2.616	95.00	14.932	CUMPLE
MUESTRA 2	15.478	2.328	2.616	95.00	15.478	CUMPLE
MUESTRA 3	14.833	2.346	2.616	95.00	14.833	CUMPLE
MUESTRA 4	17.129	2.282	2.616	95.00	17.129	CUMPLE
MUESTRA 5	15.750	2.320	2.616	95.00	15.750	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.2.4 Análisis de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales al 5.5 % de cemento asfáltico

a) Cálculos del ensayo

Tabla 282

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.670	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 283

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.616	2.697

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 284

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1173.20	1173.50	677.50	2.365
MUESTRA 2	1177.80	1179.10	679.80	2.359
MUESTRA 3	1165.40	1166.80	673.00	2.360
MUESTRA 4	1161.30	1162.40	668.50	2.351
MUESTRA 5	1155.70	1156.40	661.20	2.334

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 285

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	5.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.439
MUESTRA 2	5.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.439
MUESTRA 3	5.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.439
MUESTRA 4	5.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.439
MUESTRA 5	5.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.439

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 286

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.365	2.439	3.039
MUESTRA 2	2.359	2.439	3.303
MUESTRA 3	2.360	2.439	3.255
MUESTRA 4	2.351	2.439	3.615
MUESTRA 5	2.334	2.439	4.331

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 287

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL(VMA)
MUESTRA 1	5.50	2.616	2.365	14.570
MUESTRA 2	5.50	2.616	2.359	14.802
MUESTRA 3	5.50	2.616	2.360	14.760
MUESTRA 4	5.50	2.616	2.351	15.077
MUESTRA 5	5.50	2.616	2.334	15.709

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 288

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	4.00	14.570	79.140
MUESTRA 2	4.00	14.802	77.689
MUESTRA 3	4.00	14.760	77.948
MUESTRA 4	4.00	15.077	76.025
MUESTRA 5	4.00	15.709	72.427

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 289

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	5.50	1.014	2.439	2.657
MUESTRA 2	5.50	1.014	2.439	2.657
MUESTRA 3	5.50	1.014	2.439	2.657
MUESTRA 4	5.50	1.014	2.439	2.657
MUESTRA 5	5.50	1.014	2.439	2.657

Nota. Fuente: Propia.

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 290

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1 **MUESTRA 2** **MUESTRA 3** **MUESTRA 4** **MUESTRA 5**	2.697	2.657	2.616	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 291

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/ (100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/ (100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.439	2.365	3.039	2.439	CUMPLE
MUESTRA 2	2.439	2.359	3.303	2.439	CUMPLE
MUESTRA 3	2.439	2.360	3.255	2.439	CUMPLE
MUESTRA 4	2.439	2.351	3.615	2.439	CUMPLE
MUESTRA 5	2.439	2.334	4.331	2.439	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 292

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER)	100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)	VERIFICACIÓN 100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)=VMA
MUESTRA 1	14.570	2.365	2.616	94.50	14.570	CUMPLE
MUESTRA 2	14.802	2.359	2.616	94.50	14.802	CUMPLE
MUESTRA 3	14.760	2.360	2.616	94.50	14.760	CUMPLE
MUESTRA 4	15.077	2.351	2.616	94.50	15.077	CUMPLE
MUESTRA 5	15.709	2.334	2.616	94.50	15.709	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

3.6.6.2.5 Análisis de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales al 6 % de cemento asfáltico

a) Cálculos del ensayo

Tabla 293

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.670	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 294

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.616	2.697

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 295

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1162.10	1162.50	674.40	2.381
MUESTRA 2	1166.30	1166.80	676.60	2.379
MUESTRA 3	1167.70	1168.50	677.70	2.379
MUESTRA 4	1163.60	1164.40	669.30	2.350
MUESTRA 5	1176.30	1177.10	677.70	2.355

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 296

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	6.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.421
MUESTRA 2	6.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.421
MUESTRA 3	6.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.421
MUESTRA 4	6.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.421
MUESTRA 5	6.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.421

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 297

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.381	2.421	1.678
MUESTRA 2	2.379	2.421	1.745
MUESTRA 3	2.379	2.421	1.748
MUESTRA 4	2.350	2.421	2.943
MUESTRA 5	2.355	2.421	2.729

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 298

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	6.00	2.616	2.381	14.464
MUESTRA 2	6.00	2.616	2.379	14.523
MUESTRA 3	6.00	2.616	2.379	14.525
MUESTRA 4	6.00	2.616	2.350	15.564
MUESTRA 5	6.00	2.616	2.355	15.378

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 299

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	4.00	14.464	88.398
MUESTRA 2	4.00	14.523	87.981
MUESTRA 3	4.00	14.525	87.967
MUESTRA 4	4.00	15.564	81.091
MUESTRA 5	4.00	15.378	82.256

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 300

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	6.00	1.014	2.421	2.657
MUESTRA 2	6.00	1.014	2.421	2.657
MUESTRA 3	6.00	1.014	2.421	2.657
MUESTRA 4	6.00	1.014	2.421	2.657
MUESTRA 5	6.00	1.014	2.421	2.657

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 301

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1 **MUESTRA 2** **MUESTRA 3** **MUESTRA 4** **MUESTRA 5**	2.697	2.657	2.616	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 302

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/ (100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/ (100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.421	2.381	1.678	2.421	CUMPLE
MUESTRA 2	2.421	2.379	1.745	2.421	CUMPLE
MUESTRA 3	2.421	2.379	1.748	2.421	CUMPLE
MUESTRA 4	2.421	2.350	2.943	2.421	CUMPLE
MUESTRA 5	2.421	2.355	2.729	2.421	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 303

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER)	100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)	VERIFICACIÓN 100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)=VMA
MUESTRA 1	14.464	2.381	2.616	94.00	14.464	CUMPLE
MUESTRA 2	14.523	2.379	2.616	94.00	14.523	CUMPLE
MUESTRA 3	14.525	2.379	2.616	94.00	14.525	CUMPLE
MUESTRA 4	15.564	2.350	2.616	94.00	15.564	CUMPLE
MUESTRA 5	15.378	2.355	2.616	94.00	15.378	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.2.6 Análisis de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales al 6.5 % de cemento asfáltico

a) Cálculos del ensayo

Tabla 304

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.670	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 305

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.616	2.697

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 306

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1180.30	1180.60	682.70	2.371
MUESTRA 2	1175.80	1176.40	680.80	2.372
MUESTRA 3	1209.00	1209.40	700.80	2.377
MUESTRA 4	1252.30	1252.80	726.60	2.380
MUESTRA 5	1159.20	1159.90	669.30	2.363

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 307

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	6.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.404
MUESTRA 2	6.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.404
MUESTRA 3	6.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.404
MUESTRA 4	6.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.404
MUESTRA 5	6.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.404

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 308

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.371	2.404	1.381
MUESTRA 2	2.372	2.404	1.301
MUESTRA 3	2.377	2.404	1.108
MUESTRA 4	2.380	2.404	0.993
MUESTRA 5	2.363	2.404	1.703

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 309

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	6.50	2.616	2.371	15.287
MUESTRA 2	6.50	2.616	2.372	15.219
MUESTRA 3	6.50	2.616	2.377	15.053
MUESTRA 4	6.50	2.616	2.380	14.954
MUESTRA 5	6.50	2.616	2.363	15.564

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 310

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	4.00	15.287	90.966
MUESTRA 2	4.00	15.219	91.451
MUESTRA 3	4.00	15.053	92.638
MUESTRA 4	4.00	14.954	93.363
MUESTRA 5	4.00	15.564	89.059

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 311

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	6.50	1.014	2.404	2.657
MUESTRA 2	6.50	1.014	2.404	2.657
MUESTRA 3	6.50	1.014	2.404	2.657
MUESTRA 4	6.50	1.014	2.404	2.657
MUESTRA 5	6.50	1.014	2.404	2.657

Nota. Fuente: Propia.

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 312

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1 **MUESTRA 2** **MUESTRA 3** **MUESTRA 4** **MUESTRA 5**	2.697	2.657	2.616	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 313

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/ (100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/ (100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.404	2.371	1.381	2.404	CUMPLE
MUESTRA 2	2.404	2.372	1.301	2.404	CUMPLE
MUESTRA 3	2.404	2.377	1.108	2.404	CUMPLE
MUESTRA 4	2.404	2.380	0.993	2.404	CUMPLE
MUESTRA 5	2.404	2.363	1.703	2.404	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 314

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER)	100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)	VERIFICACIÓN 100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)=VMA
MUESTRA 1	15.287	2.371	2.616	93.50	15.287	CUMPLE
MUESTRA 2	15.219	2.372	2.616	93.50	15.219	CUMPLE
MUESTRA 3	15.053	2.377	2.616	93.50	15.053	CUMPLE
MUESTRA 4	14.954	2.380	2.616	93.50	14.954	CUMPLE
MUESTRA 5	15.564	2.363	2.616	93.50	15.564	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

3.6.6.2.7 Análisis de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales al 7 % de cemento asfáltico

a) Cálculos del ensayo

Tabla 315

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.670	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 316

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.616	2.697

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 317

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1179.5	1179.9	682.7	2.372
MUESTRA 2	1162.3	1162.6	672.6	2.372
MUESTRA 3	1179.5	1180	682.7	2.372
MUESTRA 4	1145.3	1145.9	661.1	2.362
MUESTRA 5	1177.4	1177.9	681	2.369

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 318

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	7.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.386
MUESTRA 2	7.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.386
MUESTRA 3	7.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.386
MUESTRA 4	7.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.386
MUESTRA 5	7.00	2.643	2.646	2.685	2.850	2.386

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 319

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.372	2.386	0.586
MUESTRA 2	2.372	2.386	0.596
MUESTRA 3	2.372	2.386	0.606
MUESTRA 4	2.362	2.386	0.999
MUESTRA 5	2.369	2.386	0.703

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 320

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	7.00	2.616	2.372	15.679
MUESTRA 2	7.00	2.616	2.372	15.688
MUESTRA 3	7.00	2.616	2.372	15.696
MUESTRA 4	7.00	2.616	2.362	16.030
MUESTRA 5	7.00	2.616	2.369	15.778

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 321

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	4.00	15.679	96.264
MUESTRA 2	4.00	15.688	96.201
MUESTRA 3	4.00	15.696	96.141
MUESTRA 4	4.00	16.030	93.766
MUESTRA 5	4.00	15.778	95.546

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 322

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE ASFALTO (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	7.00	1.014	2.386	2.657
MUESTRA 2	7.00	1.014	2.386	2.657
MUESTRA 3	7.00	1.014	2.386	2.657
MUESTRA 4	7.00	1.014	2.386	2.657
MUESTRA 5	7.00	1.014	2.386	2.657

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 323

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1 **MUESTRA 2** **MUESTRA 3** **MUESTRA 4** **MUESTRA 5**	2.697	2.657	2.616	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 324

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/ (100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/ (100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.386	2.372	0.586	2.386	CUMPLE
MUESTRA 2	2.386	2.372	0.596	2.386	CUMPLE
MUESTRA 3	2.386	2.372	0.606	2.386	CUMPLE
MUESTRA 4	2.386	2.362	0.999	2.386	CUMPLE
MUESTRA 5	2.386	2.369	0.703	2.386	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 325

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla convencional al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER)	100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)	VERIFICACIÓN 100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)=VMA
MUESTRA 1	15.679	2.372	2.616	93.00	15.679	CUMPLE
MUESTRA 2	15.688	2.372	2.616	93.00	15.688	CUMPLE
MUESTRA 3	15.696	2.372	2.616	93.00	15.696	CUMPLE
MUESTRA 4	16.030	2.362	2.616	93.00	16.030	CUMPLE
MUESTRA 5	15.778	2.369	2.616	93.00	15.778	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.3 Análisis de ensayos de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales

3.6.6.3.1 Análisis de ensayo de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 4% de cemento asfáltico

Tabla 326

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO
	Kg	Cm	(por interpolación)	Kg	Kg
MUESTRA 1	1080.966	6.300	1.013	1094.478	
MUESTRA 2	1021.257	6.500	0.963	982.960	
MUESTRA 3	1081.876	6.425	0.981	1061.591	972.108
MUESTRA 4	821.513	6.250	1.025	842.051	
MUESTRA 5	884.990	6.375	0.994	879.459	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 327

Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO	FLUJO PROMEDIO
	mm	mm
MUESTRA 1	2.829	
MUESTRA 2	2.679	
MUESTRA 3	2.881	2.603
MUESTRA 4	2.260	
MUESTRA 5	2.364	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 328

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 4% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO	CONDICIÓN (1700-4000)
	Kg	mm	Kg/cm	Kg/cm	
MUESTRA 1	1094.478	2.829	3868.781		
MUESTRA 2	982.960	2.679	3669.130		
MUESTRA 3	1061.591	2.881	3684.800	3733.763	CUMPLE
MUESTRA 4	842.051	2.260	3725.889		
MUESTRA 5	879.459	2.364	3720.215		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.3.2 Análisis de ensayo de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 4.5% de cemento asfáltico

Tabla 329

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO
	Kg	Cm	(por interpolación)	Kg	Kg
MUESTRA 1	1016.285	6.250	1.025	1041.692	
MUESTRA 2	1136.607	6.400	0.988	1122.399	
MUESTRA 3	930.418	6.200	1.038	965.309	1130.084
MUESTRA 4	1245.856	6.300	1.013	1261.429	
MUESTRA 5	1228.868	6.250	1.025	1259.590	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 330

Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO	FLUJO PROMEDIO
	mm	mm
MUESTRA 1	2.676	
MUESTRA 2	2.749	
MUESTRA 3	2.811	2.738
MUESTRA 4	2.586	
MUESTRA 5	2.868	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 331

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 4.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO	CONDICIÓN (1700-4000)
	Kg	mm	Kg/cm	Kg/cm	
MUESTRA 1	1041.692	2.676	3892.721		
MUESTRA 2	1122.399	2.749	4082.937		
MUESTRA 3	965.309	2.811	3434.040	4135.898	NO CUMPLE
MUESTRA 4	1261.429	2.586	4877.916		
MUESTRA 5	1259.590	2.868	4391.875		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.3.3 Análisis de ensayo de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 5 % de cemento asfáltico

Tabla 332

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO
	Kg	Cm	(por interpolación)	Kg	Kg
MUESTRA 1	1248.711	6.350	1.000	1248.711	
MUESTRA 2	1316.932	6.150	1.053	1386.071	
MUESTRA 3	1242.096	6.050	1.084	1346.122	1283.529
MUESTRA 4	1248.600	6.375	0.994	1240.796	
MUESTRA 5	1119.670	6.100	1.068	1195.948	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 333

Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm	FLUJO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	3.526	
MUESTRA 2	3.490	
MUESTRA 3	2.523	3.270
MUESTRA 4	3.056	
MUESTRA 5	3.755	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 334

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO	CONDICIÓN (1700-4000)
	Kg	mm	Kg/cm	Kg/cm	
MUESTRA 1	1248.711	3.526	3541.438		
MUESTRA 2	1386.071	3.490	3971.550		
MUESTRA 3	1346.122	2.523	5335.400	4018.706	NO CUMPLE
MUESTRA 4	1240.796	3.056	4060.197		
MUESTRA 5	1195.948	3.755	3184.947		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.3.4 Análisis de ensayo de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 5.5 % de cemento asfáltico

Tabla 335

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO
	Kg	Cm	(por interpolación)	Kg	Kg
MUESTRA 1	1262.686	6.150	1.053	1328.977	
MUESTRA 2	1207.696	6.225	1.031	1245.437	
MUESTRA 3	1374.403	6.300	1.013	1391.583	1332.643
MUESTRA 4	1306.182	6.200	1.038	1355.164	
MUESTRA 5	1309.324	6.250	1.025	1342.057	

Nota. Fuente: Propia

Tabla 336

Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO	FLUJO PROMEDIO
	mm	mm
MUESTRA 1	3.291	
MUESTRA 2	3.976	
MUESTRA 3	3.452	3.642
MUESTRA 4	3.396	
MUESTRA 5	4.095	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 337

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 5.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO	CONDICIÓN (1700-4000)
	Kg	mm	Kg/cm	Kg/cm	
MUESTRA 1	1328.977	3.291	4038.216		
MUESTRA 2	1245.437	3.976	3132.386		
MUESTRA 3	1391.583	3.452	4031.237	3693.923	CUMPLE
MUESTRA 4	1355.164	3.396	3990.471		
MUESTRA 5	1342.057	4.095	3277.307		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.3.5 Análisis de ensayo de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 6 % de cemento asfáltico

Tabla 338

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO
	Kg	Cm	(por interpolación)	Kg	Kg
MUESTRA 1	1519.527	6.350	1.000	1519.527	
MUESTRA 2	1142.012	6.200	1.038	1184.837	
MUESTRA 3	1343.062	6.250	1.025	1376.639	1358.306
MUESTRA 4	1486.005	6.300	1.013	1504.580	
MUESTRA 5	1154.361	6.175	1.045	1205.947	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 339

Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO	FLUJO PROMEDIO
	mm	mm
MUESTRA 1	4.285	
MUESTRA 2	3.956	
MUESTRA 3	4.116	4.046
MUESTRA 4	3.976	
MUESTRA 5	3.898	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 340

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 6% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO	CONDICIÓN (1700-4000)
	Kg	mm	Kg/cm	Kg/cm	
MUESTRA 1	1519.527	4.285	3546.154		
MUESTRA 2	1184.837	3.956	2995.039		
MUESTRA 3	1376.639	4.116	3344.603	3352.742	CUMPLE
MUESTRA 4	1504.580	3.976	3784.155		
MUESTRA 5	1205.947	3.898	3093.757		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.3.6 Análisis de ensayo de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 6.5% de cemento asfáltico

Tabla 341

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO
	Kg	Cm	(por interpolación)	Kg	Kg
MUESTRA 1	1146.902	6.100	1.068	1225.035	
MUESTRA 2	1247.967	6.175	1.045	1303.736	
MUESTRA 3	1523.992	6.325	1.006	1533.517	1321.532
MUESTRA 4	1427.325	6.525	0.957	1366.218	
MUESTRA 5	1143.421	6.225	1.031	1179.153	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 342

Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO	FLUJO PROMEDIO
	mm	mm
MUESTRA 1	4.347	
MUESTRA 2	4.382	
MUESTRA 3	4.234	4.339
MUESTRA 4	4.453	
MUESTRA 5	4.278	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 343

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 6.5% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO	CONDICIÓN (1700-4000)
	Kg	mm	Kg/cm	Kg/cm	
MUESTRA 1	1225.035	4.347	2818.115		
MUESTRA 2	1303.736	4.382	2975.207		
MUESTRA 3	1533.517	4.234	3621.911	3047.927	CUMPLE
MUESTRA 4	1366.218	4.453	3068.084		
MUESTRA 5	1179.153	4.278	2756.318		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.3.7 Análisis de ensayo de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 7 % de cemento asfáltico

Tabla 344

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO
	Kg	Cm	(por interpolación)	Kg	Kg
MUESTRA 1	1232.504	6.225	1.031	1271.020	
MUESTRA 2	1114.164	6.125	1.060	1181.362	
MUESTRA 3	1075.708	6.225	1.031	1109.324	1246.813
MUESTRA 4	1187.198	5.975	1.107	1314.451	
MUESTRA 5	1324.788	6.250	1.025	1357.908	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 345

Flujo Marshall de mezclas asfálticas convencionales al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO	FLUJO PROMEDIO
	mm	mm
MUESTRA 1	5.501	
MUESTRA 2	5.785	
MUESTRA 3	5.623	5.870
MUESTRA 4	5.460	
MUESTRA 5	6.982	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 346

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas convencionales al 7% de cemento asfáltico

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO	CONDICIÓN (1700-4000)
	Kg	mm	Kg/cm	Kg/cm	
MUESTRA 1	1271.020	5.501	2310.525		
MUESTRA 2	1181.362	5.785	2042.112		
MUESTRA 3	1109.324	5.623	1972.833	2135.552	CUMPLE
MUESTRA 4	1314.451	5.460	2407.419		
MUESTRA 5	1357.908	6.982	1944.869		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico:

Figura 206. Elección del contenido óptimo de cemento asfáltico con un porcentaje de vacíos del total de la mezcla de 4.5%

Figura 207. Valor del porcentaje de vacíos en agregado mineral (VMA) para contenido óptimo de asfalto de 5.23%

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 208. Valor del porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) para contenido óptimo de asfalto de 5.23%

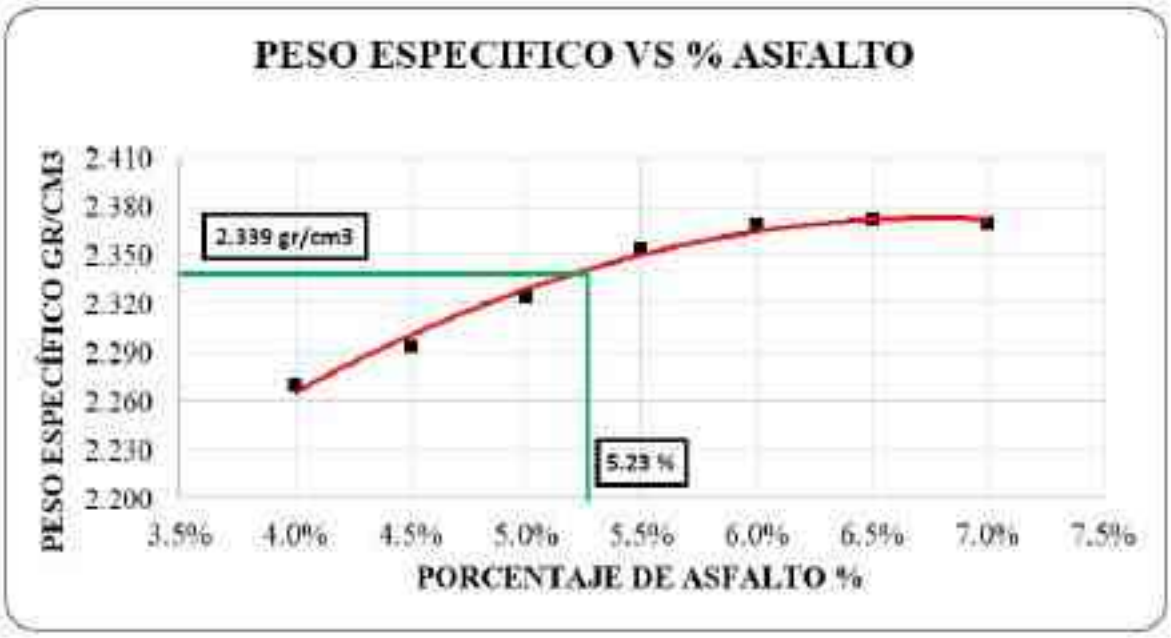


Figura 209. Valor de Peso específico para contenido óptimo de asfalto de 5.23%

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

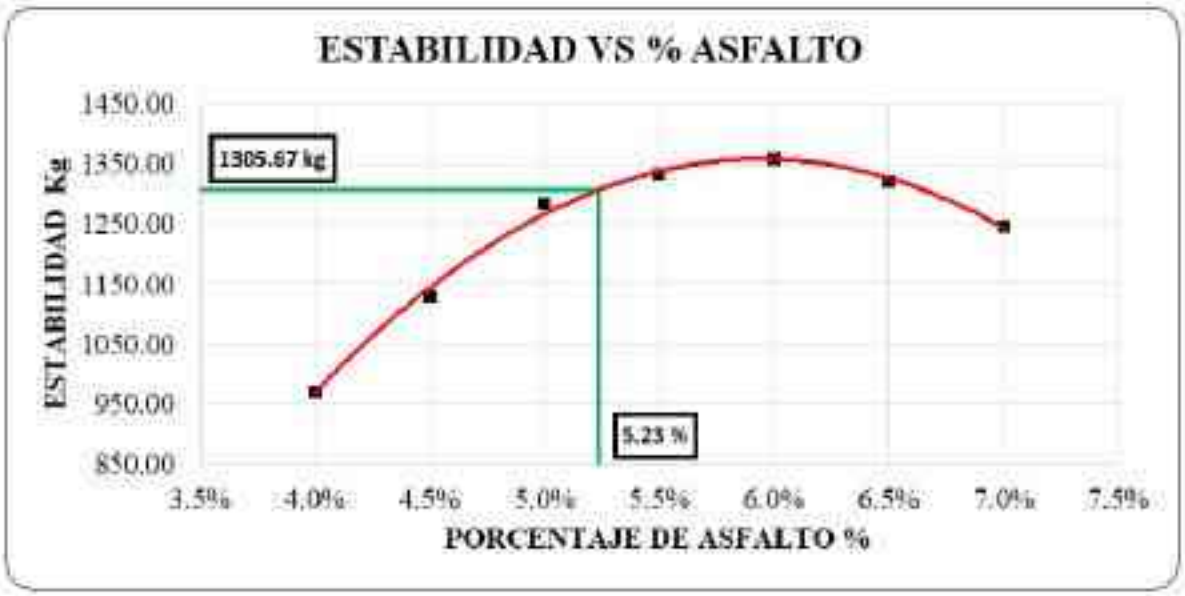


Figura 210. Valor de Estabilidad para contenido óptimo de asfalto de 5.23%

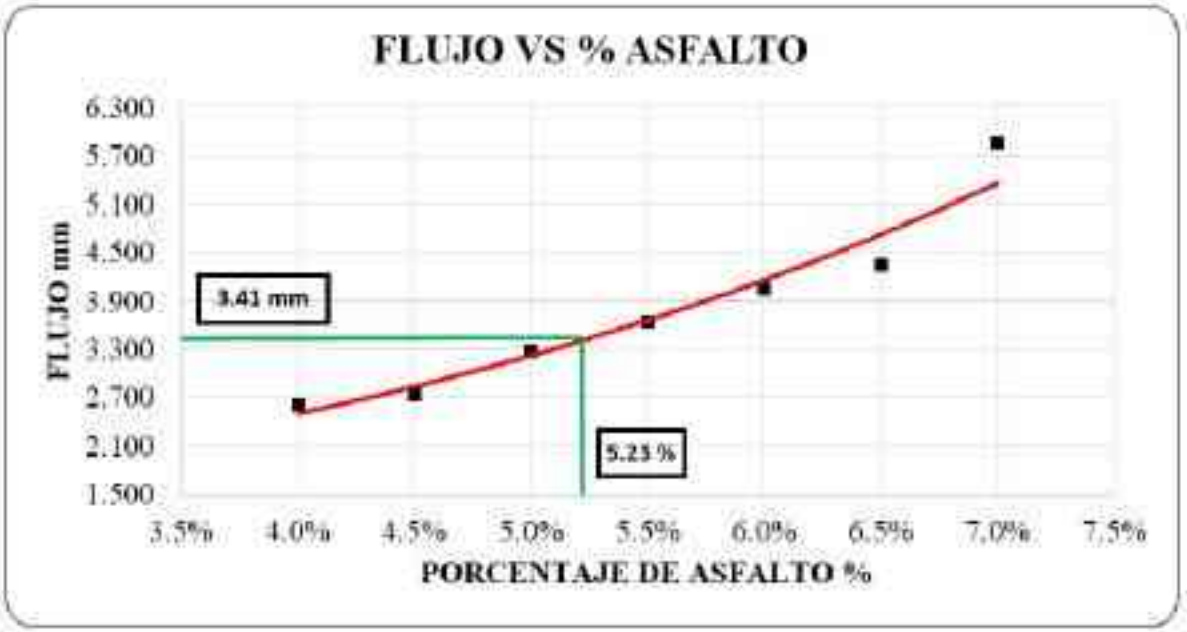


Figura 211. Valor de Flujo para contenido óptimo de asfalto de 5.23%

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.4 Análisis del ensayo de resistencia al daño inducido por humedad de mezclas asfálticas convencionales

a) Cálculos del ensayo

Tabla 347

Cálculo de resistencia a la tracción indirecta de una mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto en condición seca

NÚMERO DE MUESTRA	DIÁMETRO PROMEDIO mm	ALTURA PROMEDIO mm	CARGA MÁXIMA N	TRACCIÓN INDIRECTA KPa	TRACCIÓN INDIRECTA PROM. KPa
MUESTRA 1	101.98	63.00	8038.28	79.65	
MUESTRA 2	101.85	63.13	8796.37	87.10	83.38
MUESTRA 3	103.13	62.13	8390.77	83.38	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 348

Cálculo de resistencia a la tracción indirecta de una mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto en condición saturada

NÚMERO DE MUESTRA	DIÁMETRO PROMEDIO mm	ALTURA PROMEDIO mm	CARGA MÁXIMA N	TRACCIÓN INDIRECTA KPa	TRACCIÓN INDIRECTA KPa
MUESTRA 1	101.38	64.75	7061.59	68.49	
MUESTRA 2	102.00	62.88	6779.29	67.30	68.33
MUESTRA 3	102.50	62.75	6990.77	69.19	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 349

Cálculo de la resistencia al daño inducido por humedad (Lottman Modificado) TSR - Mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfálto

CONDICIÓN DE MUESTRA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA KPa	TSR %
SECA	83.38	81.95
SATURADA	68.33	

Nota. Fuente: Propia

b) Análisis del ensayo

La resistencia al daño inducido por humedad (Lottman modificado) determinada a través de TSR (Tensile Strenght ratio) de la mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto, cumple con el requerimiento mínimo de 80% según el “Manual de carreteras Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.6.5 Análisis de ensayo de rueda de Hamburgo de mezclas asfálticas convencionales

a) Cálculos del ensayo

Tabla 350

Cálculo de resistencia a la deformación permanente de una mezcla asfáltica convencional al 5.23%

PARÁMETROS	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CA: 5.23%
DENSIDAD MÁX TEORICA	2.449
CONTENIDO DE ASFALTO	5.23%
# DE PASADAS	17380
PROFUNDIDAD DE HUELLA (mm)	12.50

b) Análisis del ensayo

La muestra de mezcla asfáltica convencional óptima al 5.23%, alcanzo 17380 pasadas obteniendo la condición máxima de ahuellamiento de 12.50 mm, bajo las condiciones de una temperatura de 50°C y sumergida en agua.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7 Control de calidad del diseño de mezcla Adicionada con BPTR y GNR

3.6.7.1 Dosificación de mezclas asfálticas Adicionadas con BPTR y GNR

3.6.7.1.1 Dosificación de mezclas asfálticas Adicionadas en un 0.20% de BPTR y GNR.

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 351

Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.20%

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.37%	340.45
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	44.45%	533.37
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.86%	238.32
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.89%	22.70
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	5.23%	5.23%	62.76
BPTR	0.05%	0.05%	0.60
GNR	0.15%	0.15%	1.80
TOTALES	**100%+5.23% C. A+0.05% BPTR + 0.15% GNR**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 352

Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.20%

ASTM	mm	gr	gr	gr	gr
3/4"	19.05	-	-	-	
1/2"	12.70	175.90	-	-	0
3/8"	9.53	85.16	-	-	0
Nº 4	4.76	79.39	78.88	14.47	0
Nº 8	2.36	-	135.52	23.20	0
Nº 10	2.00	-	23.18	4.67	0
Nº 16	1.18	-	65.83	17.31	0
Nº 30	0.60	-	60.34	36.11	0
Nº 40	0.42	-	28.78	36.62	0
Nº 50	0.30	-	27.66	47.19	0
Nº 80	0.18	-	36.33	40.90	0
Nº 100	0.15	-	-	-	0
Nº 200	0.07	-	50.71	15.39	0
Fondo	-	-	26.16	2.46	22.70

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7.1.2 Dosificación de mezclas asfálticas Adicionadas en un 0.50% de BPTR y GNR.

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 353

Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.50%

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.28%	339.37
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	44.31%	531.68
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.80%	237.56
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.89%	22.62
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	5.23%	5.23%	62.76
BPTR	0.13%	0.13%	1.50
GNR	0.38%	0.38%	4.50
TOTALES	**100%+5.23% C. A+0.13% BPTR + 0.38% GNR**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 354

Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.50%

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	175.34	-	-	-
3/8"	**9.53**	84.89	-	-	-
Nº 4	**4.76**	79.14	78.62	14.42	-
Nº 8	**2.36**	-	135.09	23.13	-
Nº 10	**2.00**	-	23.11	4.65	-
Nº 16	**1.18**	-	65.62	17.25	-
Nº 30	**0.60**	-	60.15	36.00	-
Nº 40	**0.42**	-	28.69	36.51	-
Nº 50	**0.30**	-	27.57	47.04	-
Nº 80	**0.18**	-	36.22	40.77	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	50.55	15.34	-
Fondo	-	-	26.07	2.45	22.62

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7.1.3 Dosificación de mezclas asfálticas Adicionadas en un 0.80% de BPTR y GNR.

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 355

Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.80%

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.19%	338.29
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	44.17%	529.99
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.73%	236.80
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.88%	22.55
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	5.23%	5.23%	62.76
BPTR	0.20%	0.20%	2.40
GNR	0.60%	0.60%	7.20
TOTALES	**100%+5.23% C. A+0.20% BPTR + 0.60% GNR**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 356

Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 0.80%

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	174.78	-	-	-
3/8"	**9.53**	84.62	-	-	-
Nº 4	**4.76**	78.89	78.37	14.37	-
Nº 8	**2.36**	-	134.66	23.05	-
Nº 10	**2.00**	-	23.03	4.64	-
Nº 16	**1.18**	-	65.41	17.20	-
Nº 30	**0.60**	-	59.95	35.89	-
Nº 40	**0.42**	-	28.59	36.39	-
Nº 50	**0.30**	-	27.48	46.89	-
Nº 80	**0.18**	-	36.10	40.64	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	50.39	15.29	-
Fondo	-	-	25.99	2.44	22.55

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7.1.4 Dosificación de mezclas asfálticas Adicionadas en un 1.00% de BPTR y GNR.

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 357

Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.00%

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.13%	337.57
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	44.07%	528.86
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.69%	236.30
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.88%	22.50
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	5.23%	5.23%	62.76
BPTR	0.25%	0.25%	3.00
GNR	0.75%	0.75%	9.00
TOTALES	**100%+5.23% C. A+0.25% BPTR + 0.75% GNR**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 358

Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.00%

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	174.41	-	-	-
3/8"	**9.53**	84.44	-	-	-
Nº 4	**4.76**	78.72	78.21	14.34	-
Nº 8	**2.36**	-	134.38	23.00	-
Nº 10	**2.00**	-	22.98	4.63	-
Nº 16	**1.18**	-	65.27	17.16	-
Nº 30	**0.60**	-	59.83	35.81	-
Nº 40	**0.42**	-	28.53	36.32	-
Nº 50	**0.30**	-	27.42	46.79	-
Nº 80	**0.18**	-	36.02	40.55	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	50.28	15.26	-
Fondo	**-**	-	25.94	2.44	22.50

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7.1.5 Dosificación de mezclas asfálticas Adicionadas en un 1.40% de BPTR y GNR.

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 359

Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.40%

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	28.01%	336.13
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	43.88%	526.61
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.61%	235.29
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.87%	22.41
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	5.23%	5.23%	62.76
BPTR	0.35%	0.35%	4.20
GNR	1.05%	1.05%	12.60
TOTALES	**100%+5.23% C. A+0.35% BPTR + 1.05% GNR**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 360

Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.40%

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	173.67	-	-	-
3/8"	**9.53**	84.08	-	-	-
Nº 4	**4.76**	78.38	77.87	14.28	-
Nº 8	**2.36**	-	133.80	22.91	-
Nº 10	**2.00**	-	22.89	4.61	-
Nº 16	**1.18**	-	64.99	17.09	-
Nº 30	**0.60**	-	59.57	35.66	-
Nº 40	**0.42**	-	28.41	36.16	-
Nº 50	**0.30**	-	27.31	46.59	-
Nº 80	**0.18**	-	35.87	40.38	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	50.07	15.19	-
Fondo	**-**	-	25.83	2.43	22.41

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7.1.6 Dosificación de mezclas asfálticas Adicionadas en un 1.70% de BPTR y GNR.

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 361

Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.70%

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	27.92%	335.05
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	43.74%	524.91
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.54%	234.54
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.86%	22.34
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	5.23%	5.23%	62.76
BPTR	0.43%	0.43%	5.10
GNR	1.28%	1.28%	15.30
TOTALES	**100%+5.23% C. A+0.43% BPTR + 1.28% GNR**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 362

Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 1.70%

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	173.11	-	-	-
3/8"	**9.53**	83.81	-	-	-
Nº 4	**4.76**	78.13	77.62	14.24	-
Nº 8	**2.36**	-	133.37	22.83	-
Nº 10	**2.00**	-	22.81	4.60	-
Nº 16	**1.18**	-	64.78	17.03	-
Nº 30	**0.60**	-	59.38	35.54	-
Nº 40	**0.42**	-	28.32	36.04	-
Nº 50	**0.30**	-	27.22	46.44	-
Nº 80	**0.18**	-	35.76	40.25	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	49.91	15.14	-
Fondo	**-**	-	25.74	2.42	22.34

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7.1.7 Dosificación de mezclas asfálticas Adicionadas en un 2.00% de BPTR y GNR.

a) Cálculo de dosificación por peso total de la mezcla

Tabla 363

Dosificación de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 2.00%

MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	PESO EN GRAMOS TOTAL DE MEZCLA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	30.00%	27.83%	333.97
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	47.00%	43.60%	523.22
AF2: Arena Fina de Cunyac	21.00%	19.48%	233.78
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.00%	1.86%	22.26
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	5.23%	5.23%	62.76
BPTR	0.50%	0.50%	6.00
GNR	1.50%	1.50%	18.00
TOTALES	**100%+5.23% C. A+0.50% BPTR + 1.50% GNR**	**100.00%**	**1200.00**

Nota. Fuente: Propia.

b) Cálculo de dosificación de agregados por tamices normalizados

Tabla 364

Dosificación de agregados de una mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR al 2.00%

MALLA		AG MB	AT MB	AFC	FILLER
ASTM	**mm**	**gr**	**gr**	**gr**	**gr**
3/4"	**19.05**	-	-	-	
1/2"	**12.70**	172.55	-	-	-
3/8"	**9.53**	83.54	-	-	-
Nº 4	**4.76**	77.88	77.37	14.19	-
Nº 8	**2.36**	-	132.94	22.76	-
Nº 10	**2.00**	-	22.74	4.58	-
Nº 16	**1.18**	-	64.57	16.98	-
Nº 30	**0.60**	-	59.19	35.43	-
Nº 40	**0.42**	-	28.23	35.93	-
Nº 50	**0.30**	-	27.13	46.29	-
Nº 80	**0.18**	-	35.64	40.12	-
Nº 100	**0.15**	-	-	-	-
Nº 200	**0.074**	-	49.75	15.09	-
Fondo	-	-	25.66	2.41	22.26

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7.2 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas adicionadas con BPTR y GNR

3.6.7.2.1 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas adicionadas en un 0.20% de BPTR y GNR.

a) Cálculos del ensayo

Tabla 365

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.672	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-
BPTR	1.238	1.238	-
GNR	1.082	1.087	-

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 366

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.609	2.689

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 367

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1170.000	1172.400	670.700	2.332
MUESTRA 2	1172.500	1174.100	671.400	2.332
MUESTRA 3	1173.300	1175.500	672.600	2.333
MUESTRA 4	1172.200	1174.500	671.700	2.331
MUESTRA 5	1171.100	1173.400	672.000	2.336
MUESTRA 6	1176.200	1178.000	671.800	2.324
MUESTRA 7	1179.300	1181.500	675.500	2.331

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 368

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	0.050	0.150	2.643	2.646	2.685	2.850	2.443
MUESTRA 2	0.050	0.150	2.643	2.646	2.685	2.850	2.443
MUESTRA 3	0.050	0.150	2.643	2.646	2.685	2.850	2.443
MUESTRA 4	0.050	0.150	2.643	2.646	2.685	2.850	2.443
MUESTRA 5	0.050	0.150	2.643	2.646	2.685	2.850	2.443
MUESTRA 6	0.050	0.150	2.643	2.646	2.685	2.850	2.443
MUESTRA 7	0.050	0.150	2.643	2.646	2.685	2.850	2.443

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 369

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.332	2.443	4.547
MUESTRA 2	2.332	2.443	4.533
MUESTRA 3	2.333	2.443	4.506
MUESTRA 4	2.331	2.443	4.577
MUESTRA 5	2.336	2.443	4.400
MUESTRA 6	2.324	2.443	4.894
MUESTRA 7	2.331	2.443	4.606

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 370

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	0.050	0.150	2.616	2.280	15.291
MUESTRA 2	0.050	0.150	2.616	2.278	15.279
MUESTRA 3	0.050	0.150	2.616	2.307	15.255
MUESTRA 4	0.050	0.150	2.616	2.253	15.318
MUESTRA 5	0.050	0.150	2.616	2.235	15.161
MUESTRA 6	0.050	0.150	2.616	2.253	15.600
MUESTRA 7	0.050	0.150	2.616	2.235	15.344

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 371

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	4.547	16.349	70.265
MUESTRA 2	4.533	16.402	70.331
MUESTRA 3	4.506	15.355	70.462
MUESTRA 4	4.577	17.348	70.122
MUESTRA 5	4.400	17.981	70.978
MUESTRA 6	4.894	17.348	68.626
MUESTRA 7	4.606	17.981	69.982

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 372

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	0.050	0.150	1.014	2.443	2.649
MUESTRA 2	0.050	0.150	1.014	2.443	2.649
MUESTRA 3	0.050	0.150	1.014	2.443	2.649
MUESTRA 4	0.050	0.150	1.014	2.443	2.649
MUESTRA 5	0.050	0.150	1.014	2.443	2.649
MUESTRA 6	0.050	0.150	1.014	2.443	2.649
MUESTRA 7	0.050	0.150	1.014	2.443	2.649

Nota. Fuente: Propia.

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 373

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1				
MUESTRA 2				
MUESTRA 3				
MUESTRA 4	2.689	2.649	2.609	CUMPLE
MUESTRA 5				
MUESTRA 6				
MUESTRA 7				

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 374

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACIOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/(100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/(100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.443	2.332	4.547	2.443	CUMPLE
MUESTRA 2	2.443	2.332	4.533	2.443	CUMPLE
MUESTRA 3	2.443	2.333	4.506	2.443	CUMPLE
MUESTRA 4	2.443	2.331	4.577	2.443	CUMPLE
MUESTRA 5	2.443	2.336	4.400	2.443	CUMPLE
MUESTRA 6	2.443	2.324	4.894	2.443	CUMPLE
MUESTRA 7	2.443	2.331	4.606	2.443	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 375

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.2% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER+%BPTR+%GNR)	100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)	VERIFICACIÓN 100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)=VMA
MUESTRA 1	15.291	2.332	2.609	94.77	15.291	CUMPLE
MUESTRA 2	15.279	2.332	2.609	94.77	15.279	CUMPLE
MUESTRA 3	15.255	2.333	2.609	94.77	15.255	CUMPLE
MUESTRA 4	15.318	2.331	2.609	94.77	15.318	CUMPLE
MUESTRA 5	15.161	2.336	2.609	94.77	15.161	CUMPLE
MUESTRA 6	15.600	2.324	2.609	94.77	15.600	CUMPLE
MUESTRA 7	15.344	2.331	2.609	94.77	15.344	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.2.2 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas adicionadas en un 0.50% de BPTR y GNR.

a) Cálculos del ensayo

Tabla 376

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.672	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-
BPTR	1.238	1.238	-
GNR	1.082	1.087	-

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 377

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.598	2.677

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 378

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1181.000	1183.200	674.200	2.320
MUESTRA 2	1172.800	1175.500	672.400	2.331
MUESTRA 3	1177.700	1179.100	673.100	2.327
MUESTRA 4	1176.600	1178.100	672.100	2.325
MUESTRA 5	1177.700	1179.500	673.700	2.328
MUESTRA 6	1179.300	1181.000	673.100	2.322
MUESTRA 7	1182.200	1184.400	674.400	2.318

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 379

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	0.13	0.38	2.643	2.646	2.685	2.850	2.434
MUESTRA 2	0.13	0.38	2.643	2.646	2.685	2.850	2.434
MUESTRA 3	0.13	0.38	2.643	2.646	2.685	2.850	2.434
MUESTRA 4	0.13	0.38	2.643	2.646	2.685	2.850	2.434
MUESTRA 5	0.13	0.38	2.643	2.646	2.685	2.850	2.434
MUESTRA 6	0.13	0.38	2.643	2.646	2.685	2.850	2.434
MUESTRA 7	0.13	0.38	2.643	2.646	2.685	2.850	2.434

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 380

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.320	2.434	4.671
MUESTRA 2	2.331	2.434	4.223
MUESTRA 3	2.327	2.434	4.374
MUESTRA 4	2.325	2.434	4.463
MUESTRA 5	2.328	2.434	4.336
MUESTRA 6	2.322	2.434	4.602
MUESTRA 7	2.318	2.434	4.762

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 381

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	0.13	0.38	2.616	2.275	15.364
MUESTRA 2	0.13	0.38	2.616	2.319	14.966
MUESTRA 3	0.13	0.38	2.616	2.299	15.100
MUESTRA 4	0.13	0.38	2.616	2.254	15.180
MUESTRA 5	0.13	0.38	2.616	2.321	15.067
MUESTRA 6	0.13	0.38	2.616	2.253	15.303
MUESTRA 7	0.13	0.38	2.616	2.235	15.444

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 382

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	4.671	16.947	69.596
MUESTRA 2	4.223	15.347	71.782
MUESTRA 3	4.374	16.083	71.033
MUESTRA 4	4.463	17.739	70.596
MUESTRA 5	4.336	15.286	71.219
MUESTRA 6	4.602	17.348	69.925
MUESTRA 7	4.762	17.981	69.169

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 383

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	0.13	0.38	1.014	2.434	2.638
MUESTRA 2	0.13	0.38	1.014	2.434	2.638
MUESTRA 3	0.13	0.38	1.014	2.434	2.638
MUESTRA 4	0.13	0.38	1.014	2.434	2.638
MUESTRA 5	0.13	0.38	1.014	2.434	2.638
MUESTRA 6	0.13	0.38	1.014	2.434	2.638
MUESTRA 7	0.13	0.38	1.014	2.434	2.638

Nota. Fuente: Propia.

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 384

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1				
MUESTRA 2				
MUESTRA 3				
MUESTRA 4	2.677	2.638	2.598	CUMPLE
MUESTRA 5				
MUESTRA 6				
MUESTRA 7				

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 385

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACIOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/(100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/(100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.434	2.320	4.671	2.434	CUMPLE
MUESTRA 2	2.434	2.331	4.223	2.434	CUMPLE
MUESTRA 3	2.434	2.327	4.374	2.434	CUMPLE
MUESTRA 4	2.434	2.325	4.463	2.434	CUMPLE
MUESTRA 5	2.434	2.328	4.336	2.434	CUMPLE
MUESTRA 6	2.434	2.322	4.602	2.434	CUMPLE
MUESTRA 7	2.434	2.318	4.762	2.434	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 386

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.5% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF 2+%FILLER+%BPT R+%GNR)	100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)	VERIFICACIÓN 100- ((ΣPs*VTM)*Gsb)/ Gmb)=VMA
MUESTRA 1	15.364	2.320	2.598	94.77	15.364	CUMPLE
MUESTRA 2	14.966	2.331	2.598	94.77	14.966	CUMPLE
MUESTRA 3	15.100	2.327	2.598	94.77	15.100	CUMPLE
MUESTRA 4	15.180	2.325	2.598	94.77	15.180	CUMPLE
MUESTRA 5	15.067	2.328	2.598	94.77	15.067	CUMPLE
MUESTRA 6	15.303	2.322	2.598	94.77	15.303	CUMPLE
MUESTRA 7	15.444	2.318	2.598	94.77	15.444	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.2.3 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas adicionadas en un 0.80% de BPTR y GNR.

a) Cálculos del ensayo

Tabla 387

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.672	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-
BPTR	1.238	1.238	-
GNR	1.082	1.087	-

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 388

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsb)
Combinación de agregados	2.587	2.666

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 389

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1172.500	1174.100	670.100	2.326
MUESTRA 2	1175.800	1178.100	672.000	2.323
MUESTRA 3	1174.000	1176.400	670.500	2.321
MUESTRA 4	1173.500	1175.400	668.100	2.313
MUESTRA 5	1170.200	1172.800	669.400	2.325
MUESTRA 6	1172.900	1175.600	670.300	2.321
MUESTRA 7	1175.900	1178.900	669.200	2.307

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 390

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	0.20	0.60	2.643	2.646	2.685	2.850	2.425
MUESTRA 2	0.20	0.60	2.643	2.646	2.685	2.850	2.425
MUESTRA 3	0.20	0.60	2.643	2.646	2.685	2.850	2.425
MUESTRA 4	0.20	0.60	2.643	2.646	2.685	2.850	2.425
MUESTRA 5	0.20	0.60	2.643	2.646	2.685	2.850	2.425
MUESTRA 6	0.20	0.60	2.643	2.646	2.685	2.850	2.425
MUESTRA 7	0.20	0.60	2.643	2.646	2.685	2.850	2.425

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 391

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.326	2.425	4.058
MUESTRA 2	2.323	2.425	4.187
MUESTRA 3	2.321	2.425	4.296
MUESTRA 4	2.313	2.425	4.601
MUESTRA 5	2.325	2.425	4.132
MUESTRA 6	2.321	2.425	4.272
MUESTRA 7	2.307	2.425	4.856

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 392

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	0.20	0.60	2.616	2.343	14.782
MUESTRA 2	0.20	0.60	2.616	2.328	14.897
MUESTRA 3	0.20	0.60	2.616	2.346	14.993
MUESTRA 4	0.20	0.60	2.616	2.282	15.264
MUESTRA 5	0.20	0.60	2.616	2.320	14.848
MUESTRA 6	0.20	0.60	2.616	2.253	14.972
MUESTRA 7	0.20	0.60	2.616	2.235	15.491

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 393

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	4.058	14.932	72.549
MUESTRA 2	4.187	15.478	71.894
MUESTRA 3	4.296	14.833	71.349
MUESTRA 4	4.601	17.129	69.860
MUESTRA 5	4.132	15.750	72.172
MUESTRA 6	4.272	17.348	71.468
MUESTRA 7	4.856	17.981	68.655

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 394

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	0.20	0.60	1.014	2.425	2.626
MUESTRA 2	0.20	0.60	1.014	2.425	2.626
MUESTRA 3	0.20	0.60	1.014	2.425	2.626
MUESTRA 4	0.20	0.60	1.014	2.425	2.626
MUESTRA 5	0.20	0.60	1.014	2.425	2.626
MUESTRA 6	0.20	0.60	1.014	2.425	2.626
MUESTRA 7	0.20	0.60	1.014	2.425	2.626

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 395

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1				
MUESTRA 2				
MUESTRA 3				
MUESTRA 4	2.666	2.626	2.587	CUMPLE
MUESTRA 5				
MUESTRA 6				
MUESTRA 7				

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 396

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACIOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/(100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/(100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.425	2.326	4.058	2.425	CUMPLE
MUESTRA 2	2.425	2.323	4.187	2.425	CUMPLE
MUESTRA 3	2.425	2.321	4.296	2.425	CUMPLE
MUESTRA 4	2.425	2.313	4.601	2.425	CUMPLE
MUESTRA 5	2.425	2.325	4.132	2.425	CUMPLE
MUESTRA 6	2.425	2.321	4.272	2.425	CUMPLE
MUESTRA 7	2.425	2.307	4.856	2.425	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 397

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 0.8% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER+%BPTR+%GNR)	100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)	VERIFICACIÓN 100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)=VMA
MUESTRA 1	14.782	2.326	2.587	94.77	14.782	CUMPLE
MUESTRA 2	14.897	2.323	2.587	94.77	14.897	CUMPLE
MUESTRA 3	14.993	2.321	2.587	94.77	14.993	CUMPLE
MUESTRA 4	15.264	2.313	2.587	94.77	15.264	CUMPLE
MUESTRA 5	14.848	2.325	2.587	94.77	14.848	CUMPLE
MUESTRA 6	14.972	2.321	2.587	94.77	14.972	CUMPLE
MUESTRA 7	15.491	2.307	2.587	94.77	15.491	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7.2.4 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas adicionadas en un 1.00% de BPTR y GNR.

a) Cálculos del ensayo

Tabla 398

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.672	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-
BPTR	1.238	1.238	-
GNR	1.082	1.087	-

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 399

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.580	2.658

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 400

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1179.100	1181.800	674.300	2.323
MUESTRA 2	1180.300	1182.100	672.000	2.314
MUESTRA 3	1183.900	1186.200	674.200	2.312
MUESTRA 4	1181.600	1183.500	673.100	2.315
MUESTRA 5	1184.300	1186.800	672.400	2.302
MUESTRA 6	1176.500	1178.700	672.300	2.323
MUESTRA 7	1181.200	1183.000	673.200	2.317

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 401

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	PROMEDIO GRAVEDAD SPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	0.25	0.75	2.643	2.646	2.685	2.850	2.419
MUESTRA 2	0.25	0.75	2.643	2.646	2.685	2.850	2.419
MUESTRA 3	0.25	0.75	2.643	2.646	2.685	2.850	2.419
MUESTRA 4	0.25	0.75	2.643	2.646	2.685	2.850	2.419
MUESTRA 5	0.25	0.75	2.643	2.646	2.685	2.850	2.419
MUESTRA 6	0.25	0.75	2.643	2.646	2.685	2.850	2.419
MUESTRA 7	0.25	0.75	2.643	2.646	2.685	2.850	2.419

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 402

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.323	2.419	3.943
MUESTRA 2	2.314	2.419	4.335
MUESTRA 3	2.312	2.419	4.399
MUESTRA 4	2.315	2.419	4.286
MUESTRA 5	2.302	2.419	4.813
MUESTRA 6	2.323	2.419	3.946
MUESTRA 7	2.317	2.419	4.206

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 403

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL(VMA)
MUESTRA 1	0.25	0.75	2.616	2.365	14.655
MUESTRA 2	0.25	0.75	2.616	2.359	15.003
MUESTRA 3	0.25	0.75	2.616	2.360	15.061
MUESTRA 4	0.25	0.75	2.616	2.351	14.960
MUESTRA 5	0.25	0.75	2.616	2.334	15.428
MUESTRA 6	0.25	0.75	2.616	2.253	14.658
MUESTRA 7	0.25	0.75	2.616	2.235	14.889

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 404

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	3.943	14.570	73.096
MUESTRA 2	4.335	14.802	71.106
MUESTRA 3	4.399	14.760	70.789
MUESTRA 4	4.286	15.077	71.350
MUESTRA 5	4.813	15.709	68.802
MUESTRA 6	3.946	17.348	73.077
MUESTRA 7	4.206	17.981	71.751

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 405

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	0.25	0.75	1.014	2.419	2.619
MUESTRA 2	0.25	0.75	1.014	2.419	2.619
MUESTRA 3	0.25	0.75	1.014	2.419	2.619
MUESTRA 4	0.25	0.75	1.014	2.419	2.619
MUESTRA 5	0.25	0.75	1.014	2.419	2.619
MUESTRA 6	0.25	0.75	1.014	2.419	2.619
MUESTRA 7	0.25	0.75	1.014	2.419	2.619

Nota. Fuente: Propia.

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 406

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1				
MUESTRA 2				
MUESTRA 3				
MUESTRA 4	2.658	2.619	2.580	CUMPLE
MUESTRA 5				
MUESTRA 6				
MUESTRA 7				

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 407

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACIOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/(100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/(100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.419	2.323	3.943	2.419	CUMPLE
MUESTRA 2	2.419	2.314	4.335	2.419	CUMPLE
MUESTRA 3	2.419	2.312	4.399	2.419	CUMPLE
MUESTRA 4	2.419	2.315	4.286	2.419	CUMPLE
MUESTRA 5	2.419	2.302	4.813	2.419	CUMPLE
MUESTRA 6	2.419	2.323	3.946	2.419	CUMPLE
MUESTRA 7	2.419	2.317	4.206	2.419	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 408

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER+%BPTR+%GNR)	100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)	VERIFICACIÓN 100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)=VMA
MUESTRA 1	14.655	2.323	2.580	94.77	14.655	CUMPLE
MUESTRA 2	15.003	2.314	2.580	94.77	15.003	CUMPLE
MUESTRA 3	15.061	2.312	2.580	94.77	15.061	CUMPLE
MUESTRA 4	14.960	2.315	2.580	94.77	14.960	CUMPLE
MUESTRA 5	15.428	2.302	2.580	94.77	15.428	CUMPLE
MUESTRA 6	14.658	2.323	2.580	94.77	14.658	CUMPLE
MUESTRA 7	14.889	2.317	2.580	94.77	14.889	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.2.5 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas adicionadas en un 1.40% de BPTR y GNR.

a) Cálculos del ensayo

Tabla 409

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.672	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-
BPTR	1.238	1.238	-
GNR	1.082	1.087	-

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 410

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.566	2.642

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 411

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1178.400	1180.600	671.400	2.314
MUESTRA 2	1180.200	1183.500	669.100	2.294
MUESTRA 3	1171.600	1173.300	668.300	2.320
MUESTRA 4	1176.600	1179.900	669.500	2.305
MUESTRA 5	1172.900	1174.300	669.900	2.325
MUESTRA 6	1172.400	1174.800	668.600	2.316
MUESTRA 7	1179.700	1182.200	670.800	2.307

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 412

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	0.35	1.05	2.643	2.646	2.685	2.850	2.407
MUESTRA 2	0.35	1.05	2.643	2.646	2.685	2.850	2.407
MUESTRA 3	0.35	1.05	2.643	2.646	2.685	2.850	2.407
MUESTRA 4	0.35	1.05	2.643	2.646	2.685	2.850	2.407
MUESTRA 5	0.35	1.05	2.643	2.646	2.685	2.850	2.407
MUESTRA 6	0.35	1.05	2.643	2.646	2.685	2.850	2.407
MUESTRA 7	0.35	1.05	2.643	2.646	2.685	2.850	2.407

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 413

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.314	2.407	3.842
MUESTRA 2	2.294	2.407	4.668
MUESTRA 3	2.320	2.407	3.601
MUESTRA 4	2.305	2.407	4.214
MUESTRA 5	2.325	2.407	3.380
MUESTRA 6	2.316	2.407	3.764
MUESTRA 7	2.307	2.407	4.150

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 414

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	0.35	1.05	2.616	2.381	14.516
MUESTRA 2	0.35	1.05	2.616	2.379	15.250
MUESTRA 3	0.35	1.05	2.616	2.379	14.302
MUESTRA 4	0.35	1.05	2.616	2.350	14.847
MUESTRA 5	0.35	1.05	2.616	2.355	14.105
MUESTRA 6	0.35	1.05	2.616	2.253	14.447
MUESTRA 7	0.35	1.05	2.616	2.235	14.789

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 415

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	3.842	14.464	73.535
MUESTRA 2	4.668	14.523	69.389
MUESTRA 3	3.601	14.525	74.819
MUESTRA 4	4.214	15.564	71.615
MUESTRA 5	3.380	15.378	76.039
MUESTRA 6	3.764	17.348	73.944
MUESTRA 7	4.150	17.981	71.942

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 416

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	0.35	1.05	1.014	2.407	2.604
MUESTRA 2	0.35	1.05	1.014	2.407	2.604
MUESTRA 3	0.35	1.05	1.014	2.407	2.604
MUESTRA 4	0.35	1.05	1.014	2.407	2.604
MUESTRA 5	0.35	1.05	1.014	2.407	2.604
MUESTRA 6	0.35	1.05	1.014	2.407	2.604
MUESTRA 7	0.35	1.05	1.014	2.407	2.604

Nota. Fuente: Propia.

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 417

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1				
MUESTRA 2				
MUESTRA 3				
MUESTRA 4	2.642	2.604	2.566	CUMPLE
MUESTRA 5				
MUESTRA 6				
MUESTRA 7				

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 418

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACIOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/(100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/(100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.407	2.314	3.842	2.407	CUMPLE
MUESTRA 2	2.407	2.294	4.668	2.407	CUMPLE
MUESTRA 3	2.407	2.320	3.601	2.407	CUMPLE
MUESTRA 4	2.407	2.305	4.214	2.407	CUMPLE
MUESTRA 5	2.407	2.325	3.380	2.407	CUMPLE
MUESTRA 6	2.407	2.316	3.764	2.407	CUMPLE
MUESTRA 7	2.407	2.307	4.150	2.407	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 419

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER+%BPTR+%GNR)	100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)	VERIFICACIÓN 100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)=VMA
MUESTRA 1	14.516	2.314	2.566	94.77	14.516	CUMPLE
MUESTRA 2	15.250	2.294	2.566	94.77	15.250	CUMPLE
MUESTRA 3	14.302	2.320	2.566	94.77	14.302	CUMPLE
MUESTRA 4	14.847	2.305	2.566	94.77	14.847	CUMPLE
MUESTRA 5	14.105	2.325	2.566	94.77	14.105	CUMPLE
MUESTRA 6	14.447	2.316	2.566	94.77	14.447	CUMPLE
MUESTRA 7	14.789	2.307	2.566	94.77	14.789	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.2.6 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas adicionadas en un 1.70% de BPTR y GNR.

a) Cálculos del ensayo

Tabla 420

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.672	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-
BPTR	1.238	1.238	-
GNR	1.082	1.087	-

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 421

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.555	2.631

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 422

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1179.200	1182.500	671.800	2.309
MUESTRA 2	1186.000	1188.000	671.600	2.297
MUESTRA 3	1182.400	1184.300	672.600	2.311
MUESTRA 4	1185.600	1187.900	673.000	2.303
MUESTRA 5	1184.800	1186.700	672.700	2.305
MUESTRA 6	1182.800	1184.100	672.300	2.311
MUESTRA 7	1184.600	1187.900	674.500	2.307

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 423

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	0.43	1.28	2.643	2.646	2.685	2.850	2.398
MUESTRA 2	0.43	1.28	2.643	2.646	2.685	2.850	2.398
MUESTRA 3	0.43	1.28	2.643	2.646	2.685	2.850	2.398
MUESTRA 4	0.43	1.28	2.643	2.646	2.685	2.850	2.398
MUESTRA 5	0.43	1.28	2.643	2.646	2.685	2.850	2.398
MUESTRA 6	0.43	1.28	2.643	2.646	2.685	2.850	2.398
MUESTRA 7	0.43	1.28	2.643	2.646	2.685	2.850	2.398

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 424

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.309	2.398	3.701
MUESTRA 2	2.297	2.398	4.214
MUESTRA 3	2.311	2.398	3.628
MUESTRA 4	2.303	2.398	3.968
MUESTRA 5	2.305	2.398	3.865
MUESTRA 6	2.311	2.398	3.614
MUESTRA 7	2.307	2.398	3.768

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 425

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	0.43	1.28	2.616	2.371	14.353
MUESTRA 2	0.43	1.28	2.616	2.372	14.810
MUESTRA 3	0.43	1.28	2.616	2.377	14.289
MUESTRA 4	0.43	1.28	2.616	2.380	14.591
MUESTRA 5	0.43	1.28	2.616	2.363	14.499
MUESTRA 6	0.43	1.28	2.616	2.253	14.277
MUESTRA 7	0.43	1.28	2.616	2.235	14.414

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 426

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	3.701	15.287	74.217
MUESTRA 2	4.214	15.219	71.544
MUESTRA 3	3.628	15.053	74.609
MUESTRA 4	3.968	14.954	72.806
MUESTRA 5	3.865	15.564	73.346
MUESTRA 6	3.614	17.348	74.684
MUESTRA 7	3.768	17.981	73.855

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 427

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	0.43	1.28	1.014	2.398	2.593
MUESTRA 2	0.43	1.28	1.014	2.398	2.593
MUESTRA 3	0.43	1.28	1.014	2.398	2.593
MUESTRA 4	0.43	1.28	1.014	2.398	2.593
MUESTRA 5	0.43	1.28	1.014	2.398	2.593
MUESTRA 6	0.43	1.28	1.014	2.398	2.593
MUESTRA 7	0.43	1.28	1.014	2.398	2.593

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 428

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1				
MUESTRA 2				
MUESTRA 3				
MUESTRA 4	2.631	2.593	2.555	CUMPLE
MUESTRA 5				
MUESTRA 6				
MUESTRA 7				

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 429

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACIOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/(100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/(100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.398	2.309	3.701	2.398	CUMPLE
MUESTRA 2	2.398	2.297	4.214	2.398	CUMPLE
MUESTRA 3	2.398	2.311	3.628	2.398	CUMPLE
MUESTRA 4	2.398	2.303	3.968	2.398	CUMPLE
MUESTRA 5	2.398	2.305	3.865	2.398	CUMPLE
MUESTRA 6	2.398	2.311	3.614	2.398	CUMPLE
MUESTRA 7	2.398	2.307	3.768	2.398	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 430

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER+%BPTR+%GNR)	100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)	VERIFICACIÓN 100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)=VMA
MUESTRA 1	14.353	2.309	2.555	94.77	14.353	CUMPLE
MUESTRA 2	14.810	2.297	2.555	94.77	14.810	CUMPLE
MUESTRA 3	14.289	2.311	2.555	94.77	14.289	CUMPLE
MUESTRA 4	14.591	2.303	2.555	94.77	14.591	CUMPLE
MUESTRA 5	14.499	2.305	2.555	94.77	14.499	CUMPLE
MUESTRA 6	14.277	2.311	2.555	94.77	14.277	CUMPLE
MUESTRA 7	14.414	2.307	2.555	94.77	14.414	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7.2.7 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas adicionadas en un 2.00% de BPTR y GNR.

a) Cálculos del ensayo

Tabla 431

Gravedad específica de los agregados, filler y cemento asfáltico para una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)	NORMATIVA
AG: Agregado Grueso de Morro Blanco	2.616	2.672	MTC E 206
AF1: Arena Triturada de Morro Blanco	2.603	2.689	MTC E 205
AF2: Arena Fina de Cunyac	2.627	2.742	MTC E 205
Filler: Cemento Portland Tipo I	2.850	2.850	-
Cemento Asfaltico: PEN 120/150	1.014	1.014	-
BPTR	1.238	1.238	-
GNR	1.082	1.087	-

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 432

Gravedad especifica de la combinación de agregados para una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

MATERIAL	GRAV. ESP. BULK (Gsb)	GRAV. ESP. APARENTE (Gsa)
Combinación de agregados	2.544	2.620

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 433

Gravedad especifica bulk (Gmb) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (Wd)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (Wsss)	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (Wsum)	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA (Gmb)
MUESTRA 1	1180.500	1183.800	673.700	2.314
MUESTRA 2	1175.700	1178.200	668.100	2.305
MUESTRA 3	1183.500	1186.800	672.100	2.299
MUESTRA 4	1182.600	1185.200	669.500	2.293
MUESTRA 5	1176.600	1178.400	669.400	2.312
MUESTRA 6	1180.800	1183.700	670.300	2.300
MUESTRA 7	1176.100	1178.800	668.800	2.306

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 434

Gravedad especifica teórica máxima Rice (Gmm) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AG (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF1 (Gsb+Gsa)/2	PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA AF2 (Gsb+Gsa)/2	GRAVEDAD ESPECÍFICA FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)
MUESTRA 1	0.50	1.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.389
MUESTRA 2	0.50	1.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.389
MUESTRA 3	0.50	1.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.389
MUESTRA 4	0.50	1.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.389
MUESTRA 5	0.50	1.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.389
MUESTRA 6	0.50	1.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.389
MUESTRA 7	0.50	1.50	2.643	2.646	2.685	2.850	2.389

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 435

Porcentaje de vacíos del total de la mezcla (VTM) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE (Gmm)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)
MUESTRA 1	2.314	2.389	3.122
MUESTRA 2	2.305	2.389	3.516
MUESTRA 3	2.299	2.389	3.744
MUESTRA 4	2.293	2.389	4.004
MUESTRA 5	2.312	2.389	3.234
MUESTRA 6	2.300	2.389	3.720
MUESTRA 7	2.306	2.389	3.464

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 436

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)	GRAV. ESP. BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)
MUESTRA 1	0.50	1.50	2.616	2.372	13.802
MUESTRA 2	0.50	1.50	2.616	2.372	14.153
MUESTRA 3	0.50	1.50	2.616	2.372	14.355
MUESTRA 4	0.50	1.50	2.616	2.362	14.586
MUESTRA 5	0.50	1.50	2.616	2.369	13.901
MUESTRA 6	0.50	1.50	2.616	2.253	14.334
MUESTRA 7	0.50	1.50	2.616	2.235	14.107

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 437

Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA(VTM)	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO(VFA)
MUESTRA 1	3.122	15.679	77.379
MUESTRA 2	3.516	15.688	75.156
MUESTRA 3	3.744	15.696	73.919
MUESTRA 4	4.004	16.030	72.552
MUESTRA 5	3.234	15.778	76.739
MUESTRA 6	3.720	17.348	74.046
MUESTRA 7	3.464	17.981	75.442

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 438

Gravedad especifica efectiva (Gse) de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	BPTR (%)	GNR (%)	GRAV. ESP. APARENTE DEL CEMENTO ASFÁLTICO (Gsa)	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAV. ESP. EFECTIVA(Gse)
MUESTRA 1	0.50	1.50	1.014	2.389	2.582
MUESTRA 2	0.50	1.50	1.014	2.389	2.582
MUESTRA 3	0.50	1.50	1.014	2.389	2.582
MUESTRA 4	0.50	1.50	1.014	2.389	2.582
MUESTRA 5	0.50	1.50	1.014	2.389	2.582
MUESTRA 6	0.50	1.50	1.014	2.389	2.582
MUESTRA 7	0.50	1.50	1.014	2.389	2.582

Nota. Fuente: Propia.

b) Verificaciones de resultados del ensayo

Tabla 439

Primera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	Gsa	Gse	Gsb	VERIFICACIÓN Gsa>Gse>Gsb
MUESTRA 1				
MUESTRA 2				
MUESTRA 3				
MUESTRA 4	2.620	2.582	2.544	CUMPLE
MUESTRA 5				
MUESTRA 6				
MUESTRA 7				

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 440

Segunda verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	GRAV. ESP. TEÓRICA MÁXIMA RICE(Gmm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	PORCENTAJE DE VACIOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA (VTM)	Gmb/(100-VTM)*100	VERIFICACIÓN Gmb/(100-VTM)*100=Gmm
MUESTRA 1	2.389	2.314	3.122	2.389	CUMPLE
MUESTRA 2	2.389	2.305	3.516	2.389	CUMPLE
MUESTRA 3	2.389	2.299	3.744	2.389	CUMPLE
MUESTRA 4	2.389	2.293	4.004	2.389	CUMPLE
MUESTRA 5	2.389	2.312	3.234	2.389	CUMPLE
MUESTRA 6	2.389	2.300	3.720	2.389	CUMPLE
MUESTRA 7	2.389	2.306	3.464	2.389	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 441

Tercera verificación de los parámetros volumétricos de las muestras de una mezcla adicionada en un 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MUESTRA (Gmb)	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)	ΣPs= Σ (%AG+%AF1+%AF2+%FILLER+%BPTR+%GNR)	100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)	VERIFICACIÓN 100-((ΣPs*VTM)*Gsb)/Gmb)=VMA
MUESTRA 1	13.802	2.314	2.544	94.77	13.802	CUMPLE
MUESTRA 2	14.153	2.305	2.544	94.77	14.153	CUMPLE
MUESTRA 3	14.355	2.299	2.544	94.77	14.355	CUMPLE
MUESTRA 4	14.586	2.293	2.544	94.77	14.586	CUMPLE
MUESTRA 5	13.901	2.312	2.544	94.77	13.901	CUMPLE
MUESTRA 6	14.334	2.300	2.544	94.77	14.334	CUMPLE
MUESTRA 7	14.107	2.306	2.544	94.77	14.107	CUMPLE

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.3 Análisis de ensayos de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas con BPTR y GNR

3.6.7.3.1 Análisis de ensayos de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.20% de BPTR y GNR

Tabla 442

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.20% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO
	Kg	Cm	(por interpolación)	Kg	Kg
MUESTRA 1	1256.374	6.238	1.028	1291.710	
MUESTRA 2	1210.287	6.275	1.019	1232.980	
MUESTRA 3	1398.033	6.338	1.003	1402.402	
MUESTRA 4	1254.760	6.250	1.025	1286.129	1265.179
MUESTRA 5	1281.750	6.325	1.006	1289.761	
MUESTRA 6	1018.940	6.275	1.019	1038.045	
MUESTRA 7	1279.250	6.238	1.028	1315.229	

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 443

Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.20% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm	FLUJO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	3.232	
MUESTRA 2	4.059	
MUESTRA 3	3.248	
MUESTRA 4	3.127	3.346
MUESTRA 5	3.512	
MUESTRA 6	3.145	
MUESTRA 7	3.098	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 444

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 0.20% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	FLUJO mm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO Kg/cm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO Kg/cm	CONDICIÓN (1700-4000)
MUESTRA 1	1291.710	3.232	3996.626		
MUESTRA 2	1232.980	4.059	3037.644		
MUESTRA 3	1402.402	3.248	4317.740		
MUESTRA 4	1286.129	3.127	4112.980	3811.923	CUMPLE
MUESTRA 5	1289.761	3.512	3672.440		
MUESTRA 6	1038.045	3.145	3300.620		
MUESTRA 7	1315.229	3.098	4245.413		

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.3.2 Análisis de ensayos de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.50% de BPTR y GNR

Tabla 445

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.50% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA Cm	FACTOR DE CORRECCIÓN (por interpolación)	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO Kg
MUESTRA 1	1095.632	6.263	1.022	1119.599	
MUESTRA 2	1438.813	6.250	1.025	1474.783	
MUESTRA 3	1190.592	6.300	1.013	1205.474	
MUESTRA 4	1471.530	6.300	1.013	1489.924	1305.916
MUESTRA 5	1347.647	6.263	1.022	1377.127	
MUESTRA 6	1254.361	6.288	1.016	1273.960	
MUESTRA 7	1174.844	6.263	1.022	1200.544	

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 446

Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.50% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm	FLUJO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	3.120	
MUESTRA 2	3.291	
MUESTRA 3	3.120	
MUESTRA 4	3.143	3.387
MUESTRA 5	4.041	
MUESTRA 6	3.212	
MUESTRA 7	3.780	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 447

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 0.50% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	FLUJO mm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO Kg/cm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO Kg/cm	CONDICIÓN (1700-4000)
MUESTRA 1	1119.599	3.120	3588.458		
MUESTRA 2	1474.783	3.291	4481.262		
MUESTRA 3	1205.474	3.120	3863.700		
MUESTRA 4	1489.924	3.143	4740.452	3889.150	CUMPLE
MUESTRA 5	1377.127	4.041	3407.886		
MUESTRA 6	1273.960	3.212	3966.253		
MUESTRA 7	1200.544	3.780	3176.042		

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.3.3 Análisis de ensayos de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.80% de BPTR y GNR

Tabla 448

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.80% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA Cm	FACTOR DE CORRECCIÓN (por interpolación)	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO Kg
MUESTRA 1	1082.817	6.338	1.003	1086.201	
MUESTRA 2	1285.940	6.263	1.022	1314.070	
MUESTRA 3	1425.456	6.275	1.019	1452.183	
MUESTRA 4	1296.351	6.363	0.997	1292.300	1337.148
MUESTRA 5	1492.961	6.300	1.013	1511.623	
MUESTRA 6	1184.740	6.313	1.009	1195.847	
MUESTRA 7	1493.805	6.313	1.009	1507.809	

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 449

Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 0.80% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm	FLUJO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	3.161	
MUESTRA 2	3.391	
MUESTRA 3	4.067	
MUESTRA 4	3.257	3.434
MUESTRA 5	3.473	
MUESTRA 6	3.198	
MUESTRA 7	3.491	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 450

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 0.80% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	FLUJO mm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO Kg/cm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO Kg/cm	CONDICIÓN (1700-4000)
MUESTRA 1	1086.201	3.161	3436.257		
MUESTRA 2	1314.070	3.391	3875.169		
MUESTRA 3	1452.183	4.067	3570.650		
MUESTRA 4	1292.300	3.257	3967.761	3894.404	CUMPLE
MUESTRA 5	1511.623	3.473	4352.499		
MUESTRA 6	1195.847	3.198	3739.359		
MUESTRA 7	1507.809	3.491	4319.133		

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.3.4 Análisis de ensayos de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.00% de BPTR y GNR

Tabla 451

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.00%% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA Cm	FACTOR DE CORRECCIÓN (por interpolación)	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO Kg
MUESTRA 1	1525.940	6.425	0.981	1497.329	
MUESTRA 2	1501.720	6.438	0.978	1468.870	
MUESTRA 3	1505.700	6.400	0.988	1486.879	
MUESTRA 4	1185.700	6.463	0.972	1152.352	1393.124
MUESTRA 5	1421.944	6.413	0.984	1399.726	
MUESTRA 6	1278.631	6.425	0.981	1254.657	
MUESTRA 7	1510.945	6.400	0.988	1492.058	

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 452

Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm	FLUJO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	3.701	
MUESTRA 2	3.351	
MUESTRA 3	3.187	
MUESTRA 4	4.054	3.534
MUESTRA 5	3.012	
MUESTRA 6	3.384	
MUESTRA 7	4.048	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 453

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 1.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	FLUJO mm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO Kg/cm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO Kg/cm	CONDICIÓN (1700-4000)
MUESTRA 1	1497.329	3.701	4045.741		
MUESTRA 2	1468.870	3.351	4383.378		
MUESTRA 3	1486.879	3.187	4665.449		
MUESTRA 4	1152.352	4.054	2842.507	3996.824	CUMPLE
MUESTRA 5	1399.726	3.012	4647.165		
MUESTRA 6	1254.657	3.384	3707.614		
MUESTRA 7	1492.058	4.048	3685.914		

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.3.5 Análisis de ensayos de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.40% de BPTR y GNR

Tabla 454

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA Cm	FACTOR DE CORRECCIÓN (por interpolación)	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO Kg
MUESTRA 1	1281.894	6.338	1.003	1285.900	
MUESTRA 2	1561.350	6.275	1.019	1590.625	
MUESTRA 3	1266.103	6.313	1.009	1277.973	
MUESTRA 4	1044.750	6.313	1.009	1054.545	1315.009
MUESTRA 5	1495.847	6.288	1.016	1519.220	
MUESTRA 6	1264.840	6.275	1.019	1288.556	
MUESTRA 7	1184.541	6.338	1.003	1188.243	

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 455

Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm	FLUJO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	3.427	
MUESTRA 2	3.735	
MUESTRA 3	3.164	
MUESTRA 4	4.048	3.687
MUESTRA 5	3.914	
MUESTRA 6	3.342	
MUESTRA 7	4.178	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 456

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 1.40% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	FLUJO mm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO Kg/cm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO Kg/cm	CONDICIÓN (1700-4000)
MUESTRA 1	1285.900	3.427	3752.261		
MUESTRA 2	1590.625	3.735	4258.702		
MUESTRA 3	1277.973	3.164	4039.105		
MUESTRA 4	1054.545	4.048	2605.100	3605.194	CUMPLE
MUESTRA 5	1519.220	3.914	3881.501		
MUESTRA 6	1288.556	3.342	3855.643		
MUESTRA 7	1188.243	4.178	2844.047		

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.3.6 Análisis de ensayos de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.70% de BPTR y GNR

Tabla 457

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA Cm	FACTOR DE CORRECCIÓN (por interpolación)	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO Kg
MUESTRA 1	1304.596	6.413	0.984	1284.212	
MUESTRA 2	1119.781	6.463	0.972	1088.287	
MUESTRA 3	972.491	6.475	0.969	942.101	
MUESTRA 4	1184.561	6.475	0.969	1147.543	1154.206
MUESTRA 5	1471.890	6.475	0.969	1425.893	
MUESTRA 6	1345.630	6.438	0.978	1316.194	
MUESTRA 7	897.650	6.450	0.975	875.209	

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 458

Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm	FLUJO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	4.794	
MUESTRA 2	3.754	
MUESTRA 3	3.850	
MUESTRA 4	4.096	4.014
MUESTRA 5	4.054	
MUESTRA 6	3.794	
MUESTRA 7	3.756	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 459

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 1.70% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	FLUJO mm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO Kg/cm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO Kg/cm	CONDICIÓN (1700-4000)
MUESTRA 1	1284.212	4.794	2678.790		
MUESTRA 2	1088.287	3.754	2899.007		
MUESTRA 3	942.101	3.850	2447.015		
MUESTRA 4	1147.543	4.096	2801.620	2877.570	CUMPLE
MUESTRA 5	1425.893	4.054	3517.251		
MUESTRA 6	1316.194	3.794	3469.147		
MUESTRA 7	875.209	3.756	2330.162		

Nota. Fuente: Propia.

3.6.7.3.7 Análisis de ensayos de flujo y estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 2.00% de BPTR y GNR

Tabla 460

Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg	ALTURA APROXIMADA DE LA MUESTRA Cm	FACTOR DE CORRECCIÓN (por interpolación)	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO Kg
MUESTRA 1	865.394	6.700	0.923	798.326	
MUESTRA 2	1053.164	6.675	0.929	978.126	
MUESTRA 3	1346.324	6.575	0.948	1276.063	
MUESTRA 4	960.797	6.588	0.945	908.404	974.593
MUESTRA 5	1126.500	6.550	0.953	1072.991	
MUESTRA 6	997.621	6.613	0.941	938.543	
MUESTRA 7	898.704	6.588	0.945	849.697	

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 461

Flujo Marshall de mezclas asfálticas adicionadas al 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	FLUJO mm	FLUJO PROMEDIO mm
MUESTRA 1	4.389	
MUESTRA 2	4.399	
MUESTRA 3	3.912	
MUESTRA 4	4.580	4.292
MUESTRA 5	4.344	
MUESTRA 6	4.048	
MUESTRA 7	4.375	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 462

Relación Estabilidad-Flujo de mezclas asfálticas adicionadas al 2.00% de BPTR y GNR

NÚMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO PROMEDIO	CONDICIÓN (1700-4000)
	Kg	mm	Kg/cm	Kg/cm	
MUESTRA 1	798.326	4.389	1818.925		
MUESTRA 2	978.126	4.399	2223.519		
MUESTRA 3	1276.063	3.912	3261.919		
MUESTRA 4	908.404	4.580	1983.414	2288.361	CUMPLE
MUESTRA 5	1072.991	4.344	2470.054		
MUESTRA 6	938.543	4.048	2318.535		
MUESTRA 7	849.697	4.375	1942.164		

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Determinación del contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR:

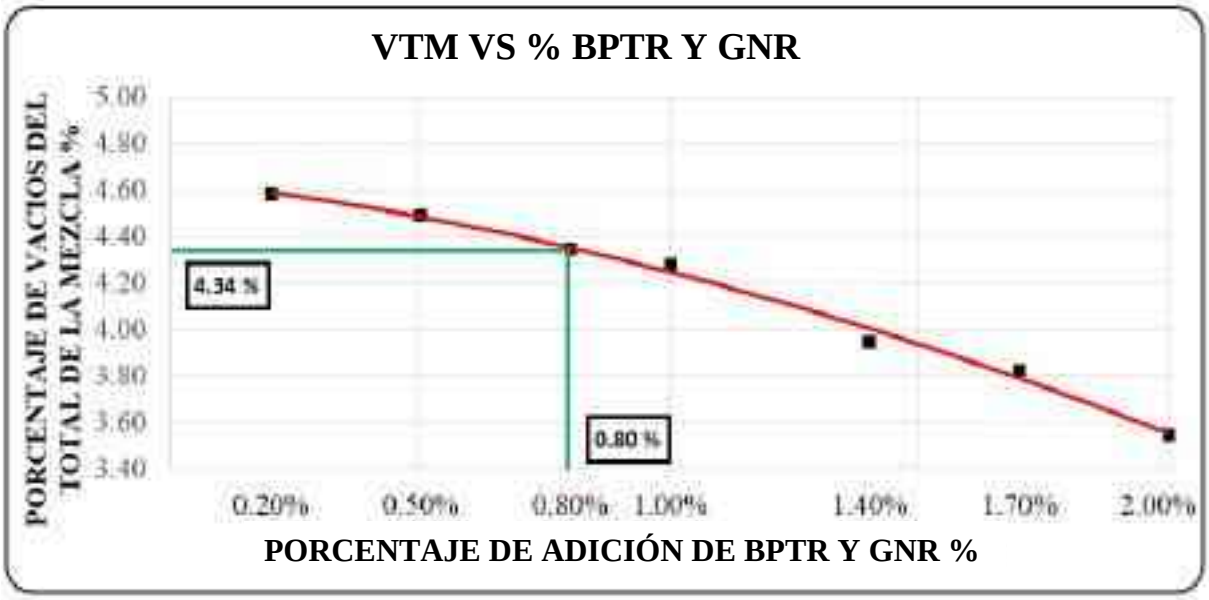


Figura 212. Elección del contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR con un porcentaje de vacíos del total de la mezcla de 4.34%.

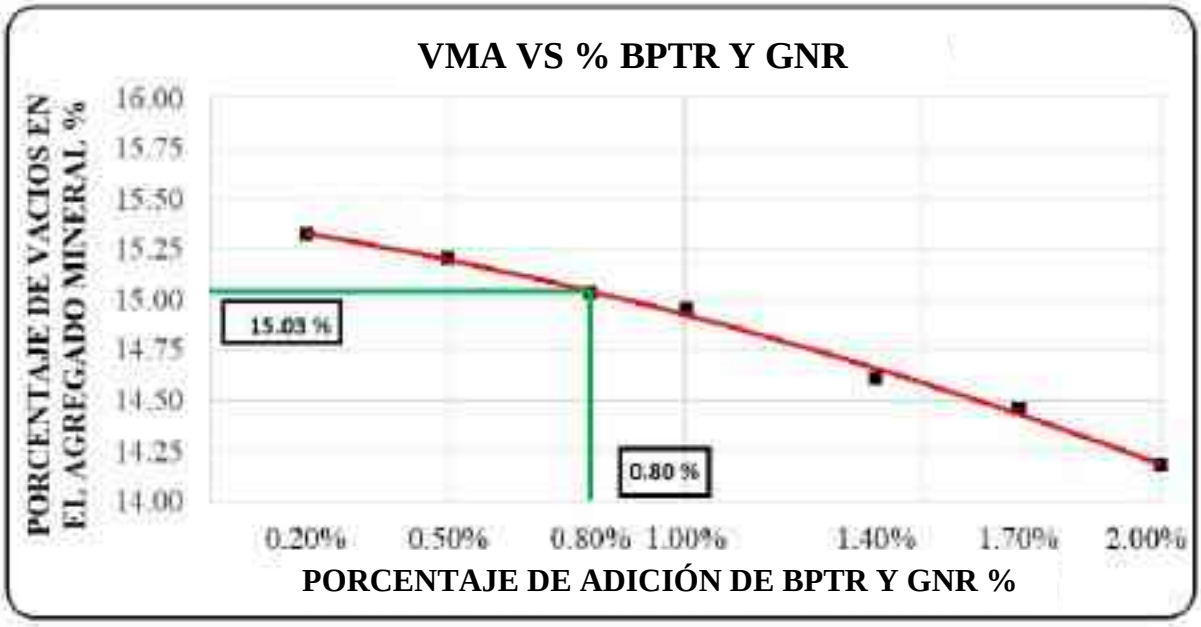


Figura 213. Valor del porcentaje de vacíos en agregado mineral (VMA) para contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR de 0.8%.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

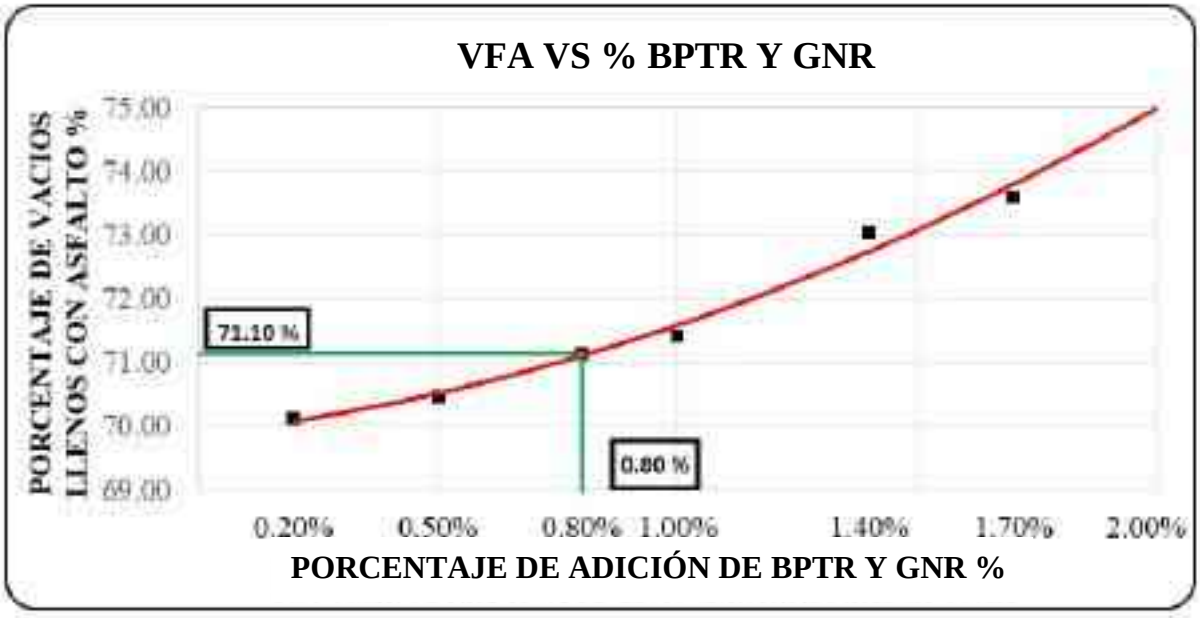


Figura 214. Valor del porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) para contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR de 0.8%.

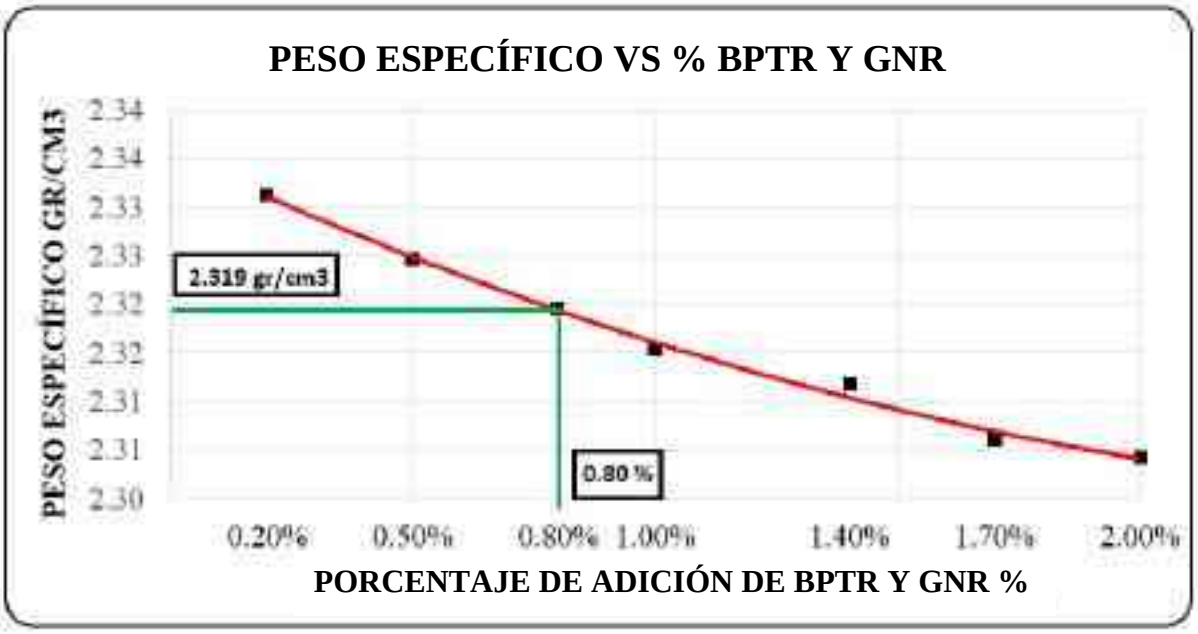


Figura 215. Valor de Peso específico para contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR de 0.8%.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 216. Valor de Estabilidad para contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR de 0.8%

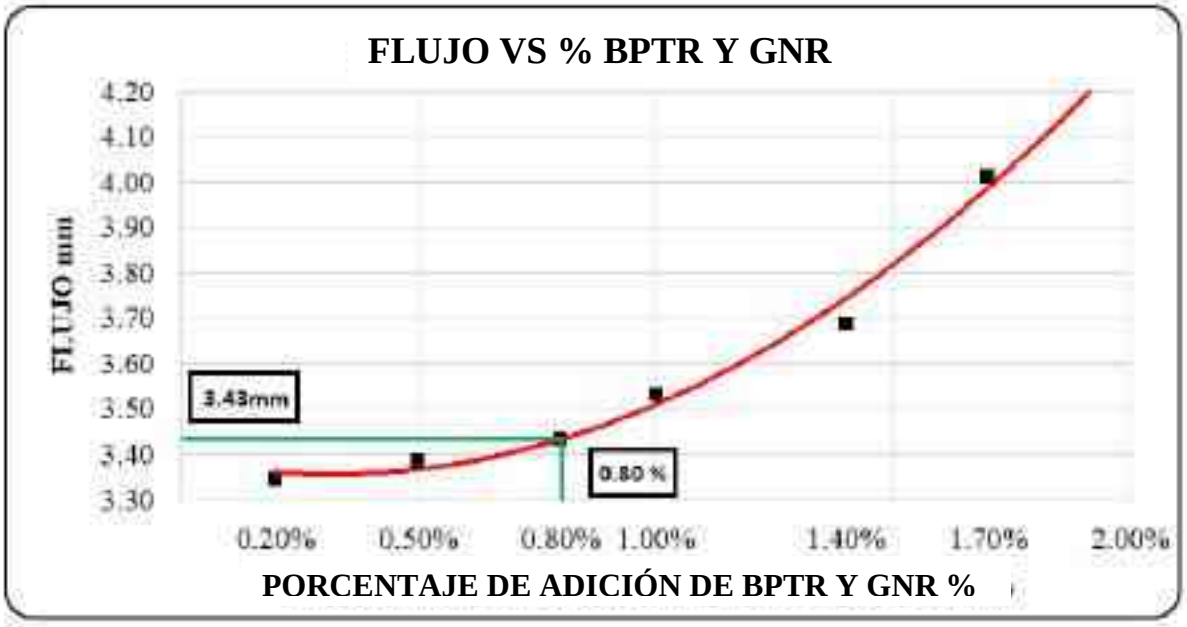


Figura 217. Valor de Flujo para contenido óptimo de porcentaje de adición de BPTR y GNR de 0.8%

3.6.7.4 Análisis del ensayo de resistencia al daño inducido por humedad de mezclas asfálticas adicionadas

a) Cálculos del ensayo

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 463

Cálculo de resistencia a la tracción indirecta de una mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada en 0.80% de BPTR y GNR en condición seca

NÚMERO DE MUESTRA	DIÁMETRO PROMEDIO mm	ALTURA PROMEDIO mm	CARGA MÁXIMA N	TRACCIÓN INDIRECTA KPa	TRACCIÓN INDIRECTA PROM. KPa
MUESTRA 1	102.13	65.13	8979.43	85.95	
MUESTRA 2	103.00	65.00	9109.24	86.62	84.67
MUESTRA 3	101.63	65.00	8449.30	81.43	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 464

Cálculo de resistencia a la tracción indirecta de una mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada en 0.80% de BPTR y GNR en condición saturada

NÚMERO DE MUESTRA	DIÁMETRO PROMEDIO mm	ALTURA PROMEDIO mm	CARGA MÁXIMA N	TRACCIÓN INDIRECTA KPa	TRACCIÓN INDIRECTA KPa
MUESTRA 1	102.13	65.13	7391.10	70.75	
MUESTRA 2	102.00	66.00	7734.32	73.14	71.39
MUESTRA 3	103.88	61.50	7053.03	70.29	

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 465

Cálculo de la resistencia al daño inducido por humedad (Lottman Modificado) TSR - Mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada en 0.8% de BPTR y GNR

CONDICIÓN DE MUESTRA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA KPa	TSR %
SECA	84.67	84.32
SATURADA	71.39	

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis del ensayo

La resistencia al daño inducido por humedad (Lottman modificado) determinada a través de TSR (Tensile Strenght ratio) de la mezcla asfáltica al 5.23% de asfálto adicionada con 0.8% de BPTR y GNR, cumple con el requerimiento mínimo de 80% según el “Manual de carreteras Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

3.6.7.5 Análisis de ensayo de rueda de Hamburgo de mezclas asfálticas adicionadas

a) Cálculos del ensayo

Tabla 466

Cálculo de la resistencia a la deformación permanente de mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada en 0.80% de BPTR y GNR

PARÁMETROS	MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CA: 5.23% BPTR Y GNR: 0.80%
DENSIDAD MÁX TEORICA	2.425
CONTENIDO DE ASFALTO	5.23%
CONTENIDO DE BPTR Y GNR	0.80%
# DE PASADAS	17380
PROFUNDIDAD DE HUELLA (mm)	9.07

b) Análisis del ensayo

La muestra de mezcla asfáltica convencional óptima al 5.23% de asfalto y adicionada en 0.80% de BPTR y GNR, alcanzo 17380 pasadas no obteniendo la condición máxima de ahuellamiento y obteniendo una profundidad de ahuellamiento de 9.07 mm, bajo las condiciones de una temperatura de 50°C y sumergida en agua.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Capítulo IV :Resultados

4.1 Control de calidad

4.1.1 Control de calidad del agregado grueso

a) Tabla de resultados

Tabla 467

Resultados de control de calidad de agregado grueso (piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac)

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE .010
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	MTC E 209	7.33%	15% Máx.	15% Máx.
ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES	MTC E 207	23.30%	35% Máx.	35% Máx.
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	ASTM 4791	9.93%	10% Máx.	15% Máx.
CARAS FRACTURADAS	MTC E 210	97.56%/89.9%	90/70 Min.	
ABSORCIÓN	MTC E 206	0.765%	1.0% Máx.	Según Diseño

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis de resultados

Los resultados de los ensayos realizados en laboratorio al agregado grueso (piedra chancada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac) cumplen con los requerimientos indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE).

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

4.1.2 Control de calidad de agregados finos

a) Tabla de resultados

Tabla 468

Resultados de control de calidad de agregado fino (Arena natural de Cunyac)

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE .010
EQUIVALENTE DE ARENA	MTC E 114	93.00%	Min. 70%	Min. 50%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	MTC E 111	NP	NP	NP
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	MTC E 209	5.69%	18% Máx.	-
ABSORCIÓN	MTC E 205	1.59%	0.5% Máx.	Según Diseño

Nota. Fuente: Propia.

Tabla 469

Resultados de control de calidad de agregado fino (Arena triturada de Morro Blanco-San Salvador-Pisac)

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE.010
EQUIVALENTE DE ARENA	MTC E 114	41.18%	Min. 70%	Min. 50%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	MTC E 111	NP	NP	NP
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	MTC E 209	10.98%	18% Máx.	-
ABSORCIÓN	MTC E 205	1.21%	0.5% Máx.	Según Diseño

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis de resultados

Los resultados de los ensayos realizados en laboratorio al agregado fino (Arena natural de Cunyac y arena triturada de Morro Blanco) cumplen con los requerimientos indicados a excepción de el parámetro de absorción especificado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE).

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

4.1.3 Control de calidad del cemento asfáltico

a) Tabla de resultados

Tabla 470

Resultados de control de calidad de cemento asfáltico 120/150 PEN

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE.010
PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS	MTC E 304	125.11	Min.120 - Máx. 150	-

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis de resultados

Los resultados de los ensayos realizados en laboratorio al ligante asfaltico (120/150 PEN) cumplen los requerimientos indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE).

Asimismo, de esta manera se corrobora la información detallada en la ficha técnica del producto (PEN 120-150) entregada por la planta de asfalto COPESCO la cual se encuentra en anexos.

4.1.4 Control de calidad de Mezcla asfáltica convencional y Mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR en porcentajes óptimos

4.1.4.1 Parámetros volumétricos de Mezcla asfáltica convencional y Mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR en porcentajes óptimos

a) Tabla de resultados

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

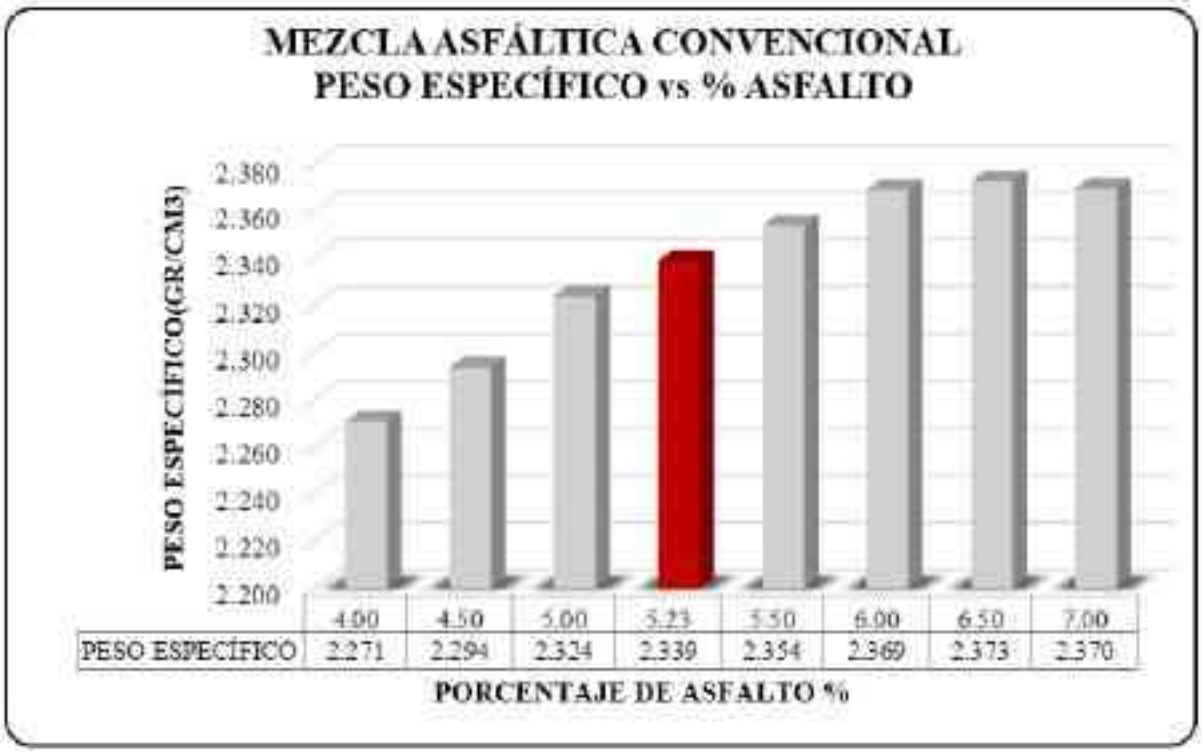


Figura 218. Variación del peso específico de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.

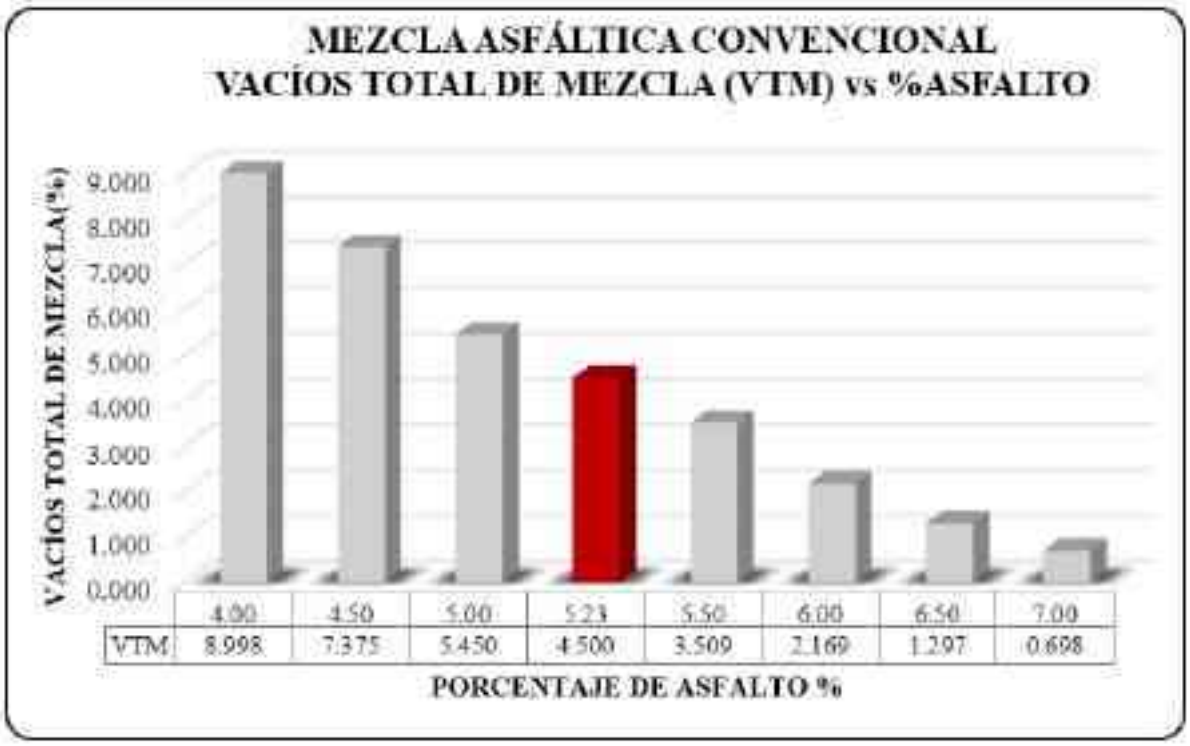


Figura 219. Variación del VTM de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

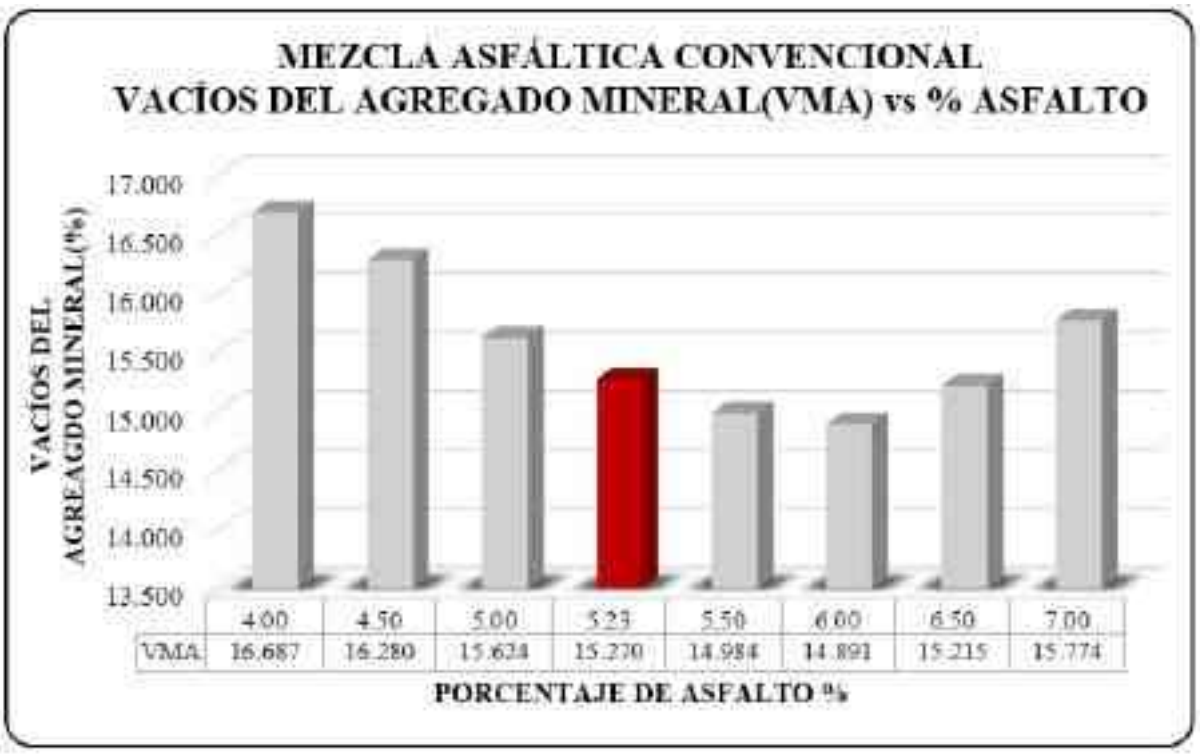


Figura 220. Variación del VMA de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.

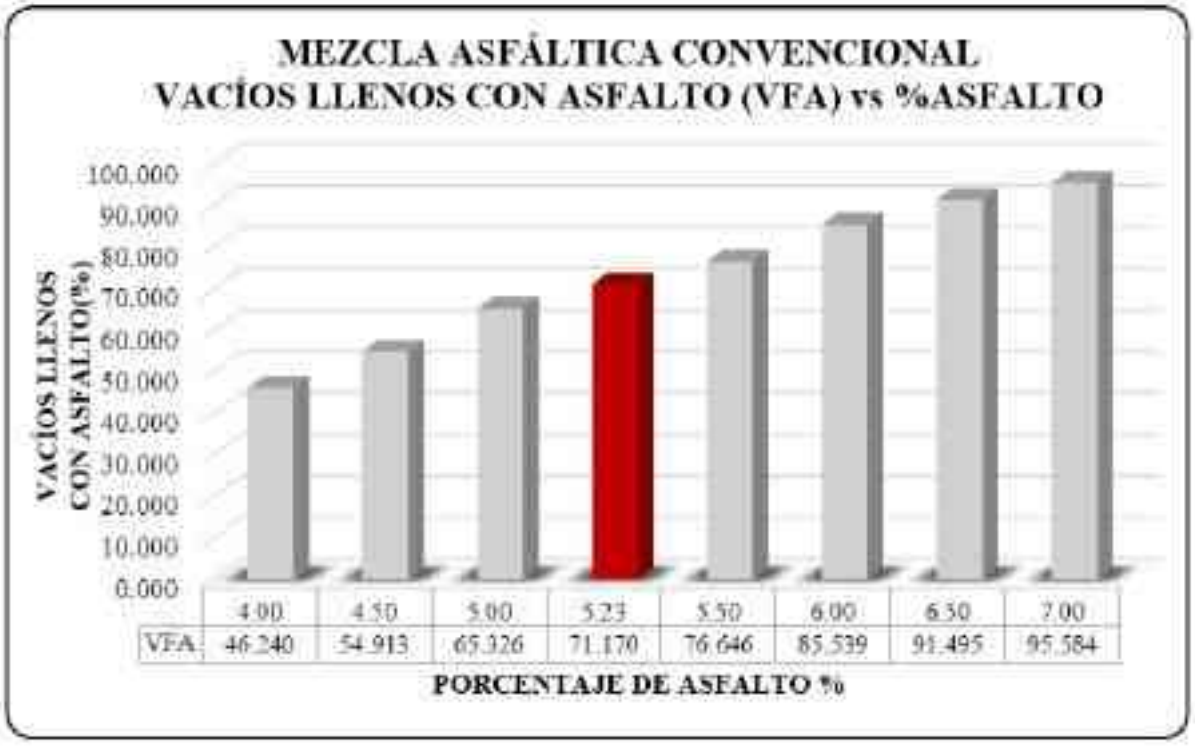


Figura 221. Variación del VFA de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

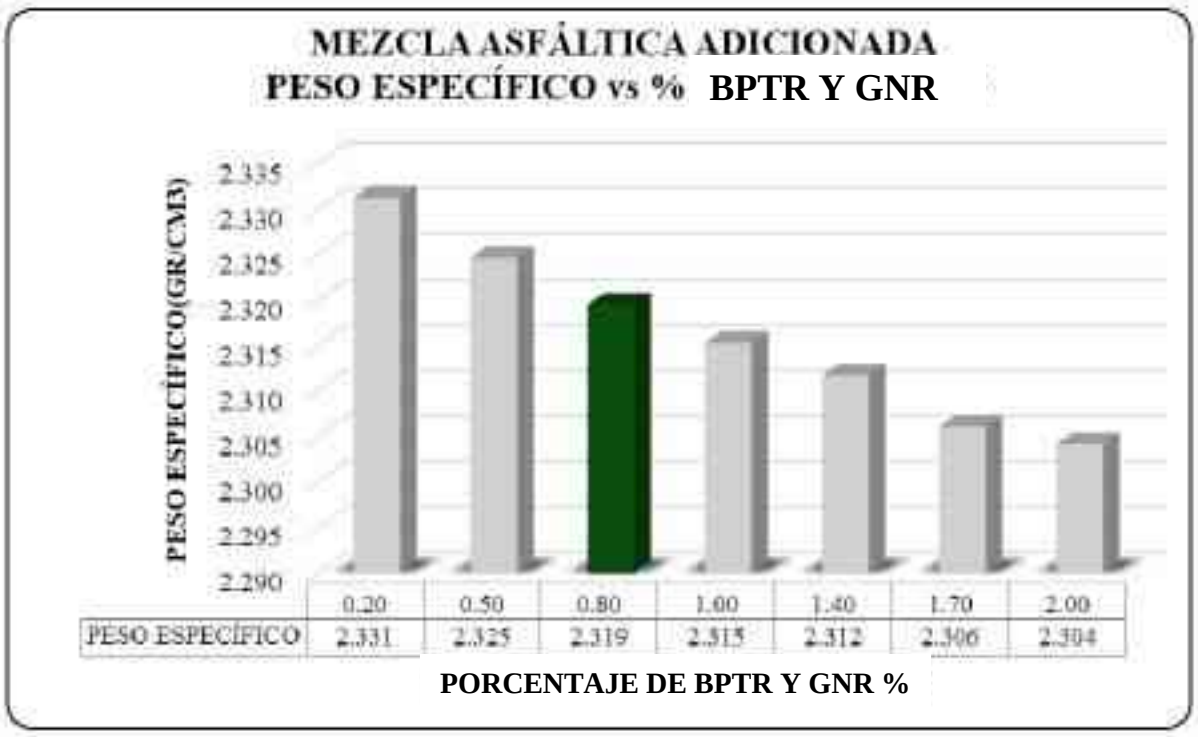


Figura 222. Variación del peso específico de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición.

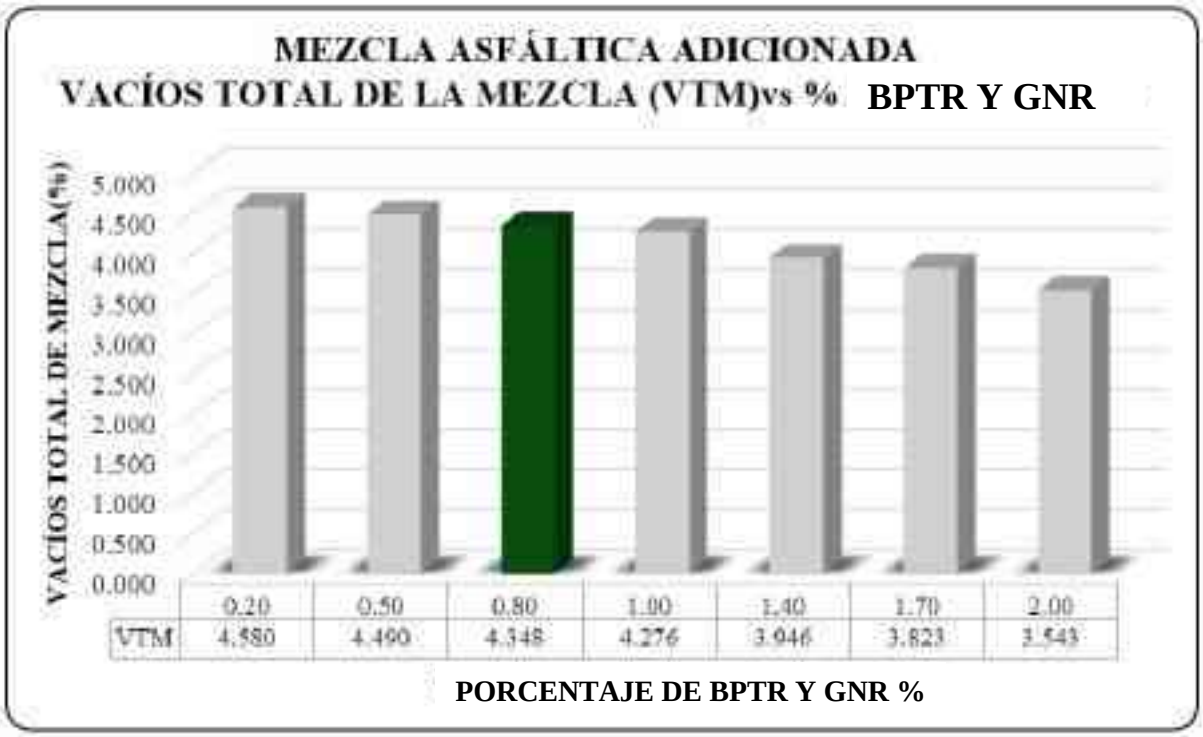


Figura 223. Variación del VTM de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

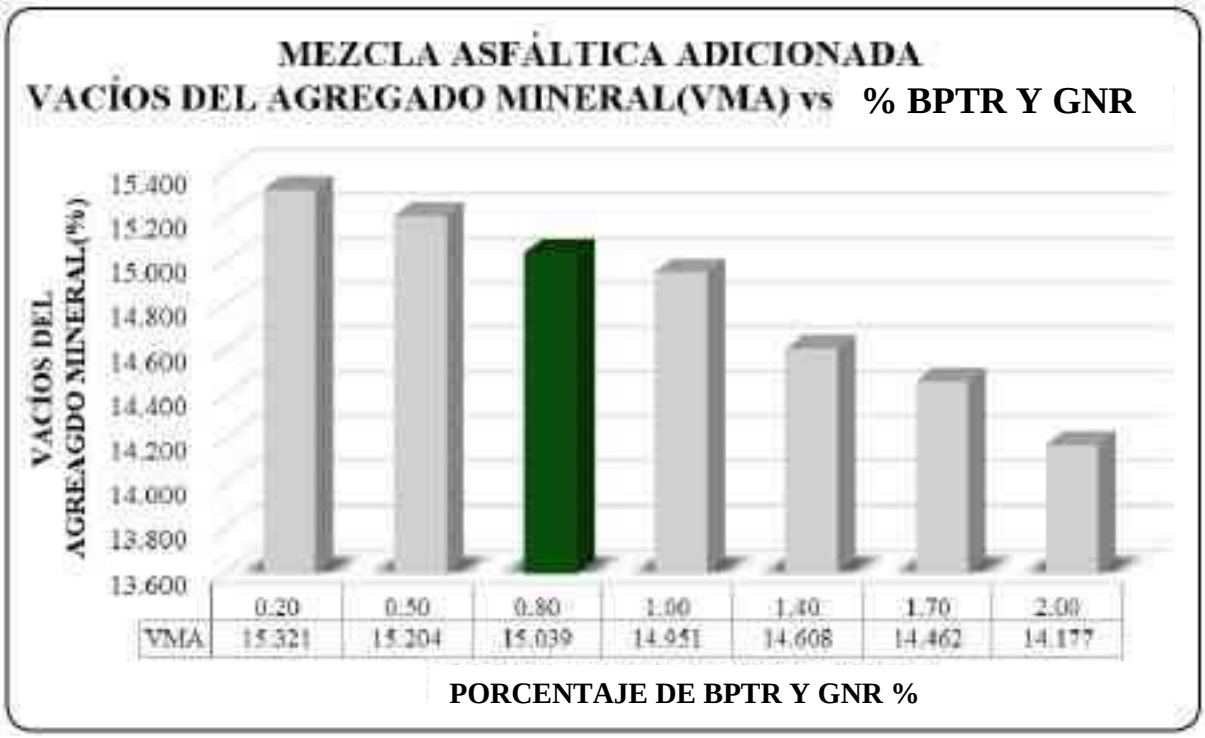


Figura 224. Variación del VMA de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición.

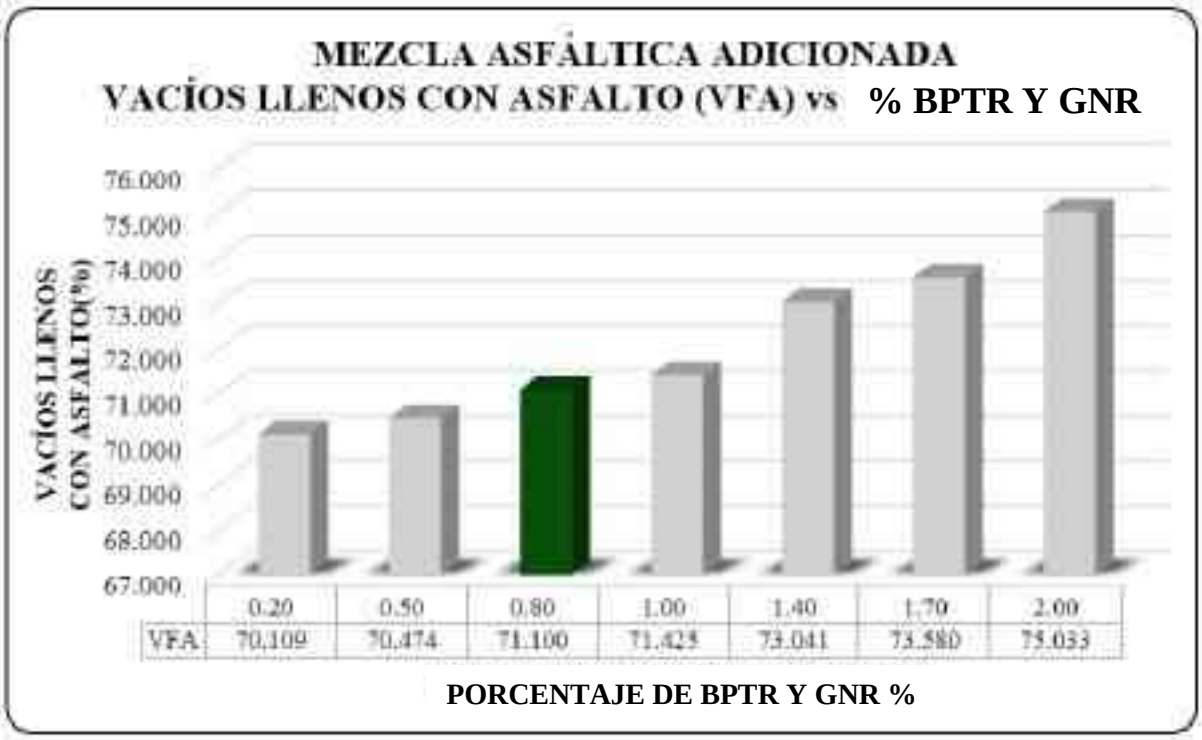


Figura 225. Variación del VFA de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 471

Comparación de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencional y adicionada en sus porcentajes óptimos.

PROPIEDAD MECÁNICA	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CA: 5.23%	MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CA: 5.23% BPTR Y GNR: 0.80%	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE 0.10
PESO ESPECÍFICO (gr./cm3)	2.339	2.319	-	-
PORCENTAJE DE VACÍOS TOTAL DE LA MEZCLA (VTM) %	4.500	4.348	3 - 5 %	3 - 5 %
PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL(VMA) %	15.270	15.039	Min. 15 %	Min. 15 %
PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA) %	71.170	71.100	65 -75 %	65 -75 %

Nota. Fuente: Propia.

c) Análisis de resultados

Los resultados de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto y la mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada con BPTR y GNR:0.80% cumplen todos los requerimientos indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE).

Se observa que la mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada con BPTR y GNR:0.80% da mejores resultados frente a la mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto respecto a los parámetros volumétricos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

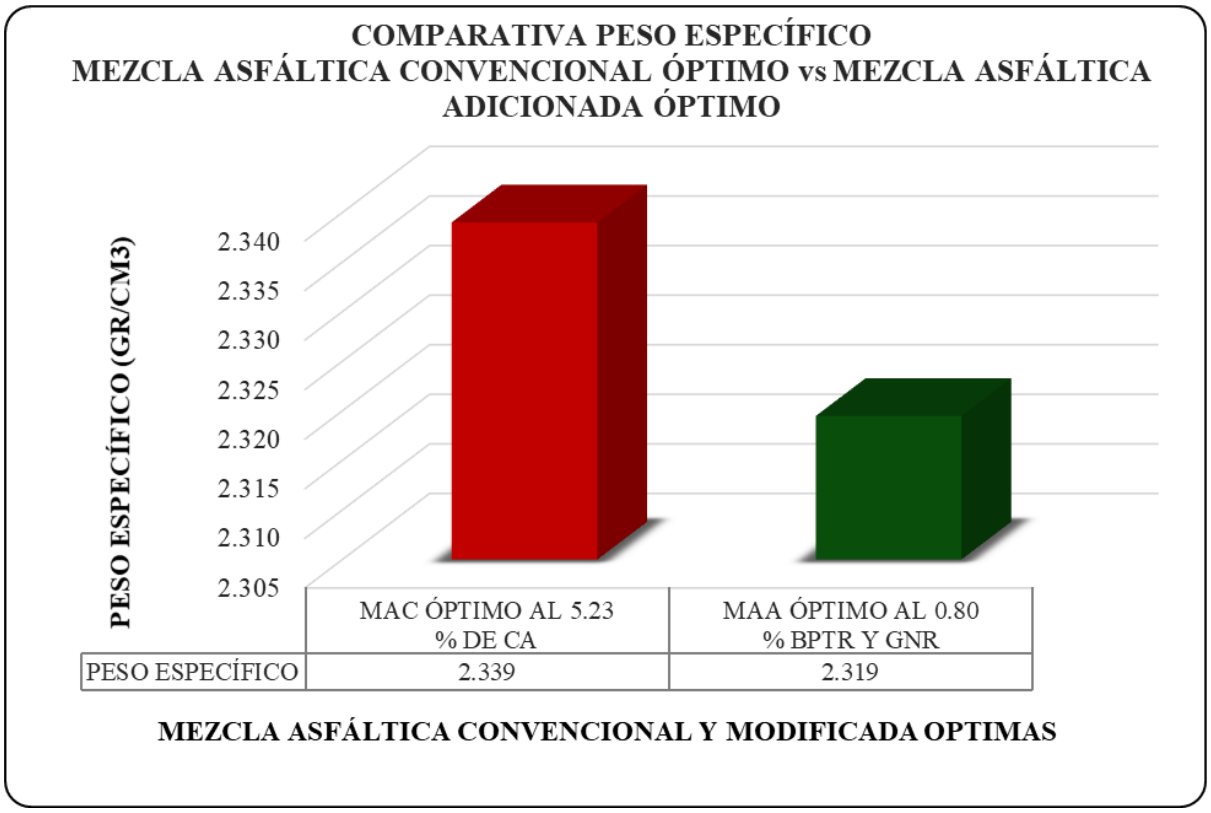


Figura 226. Comparativa del peso específico de MAC óptimo vs. MAA óptimo.

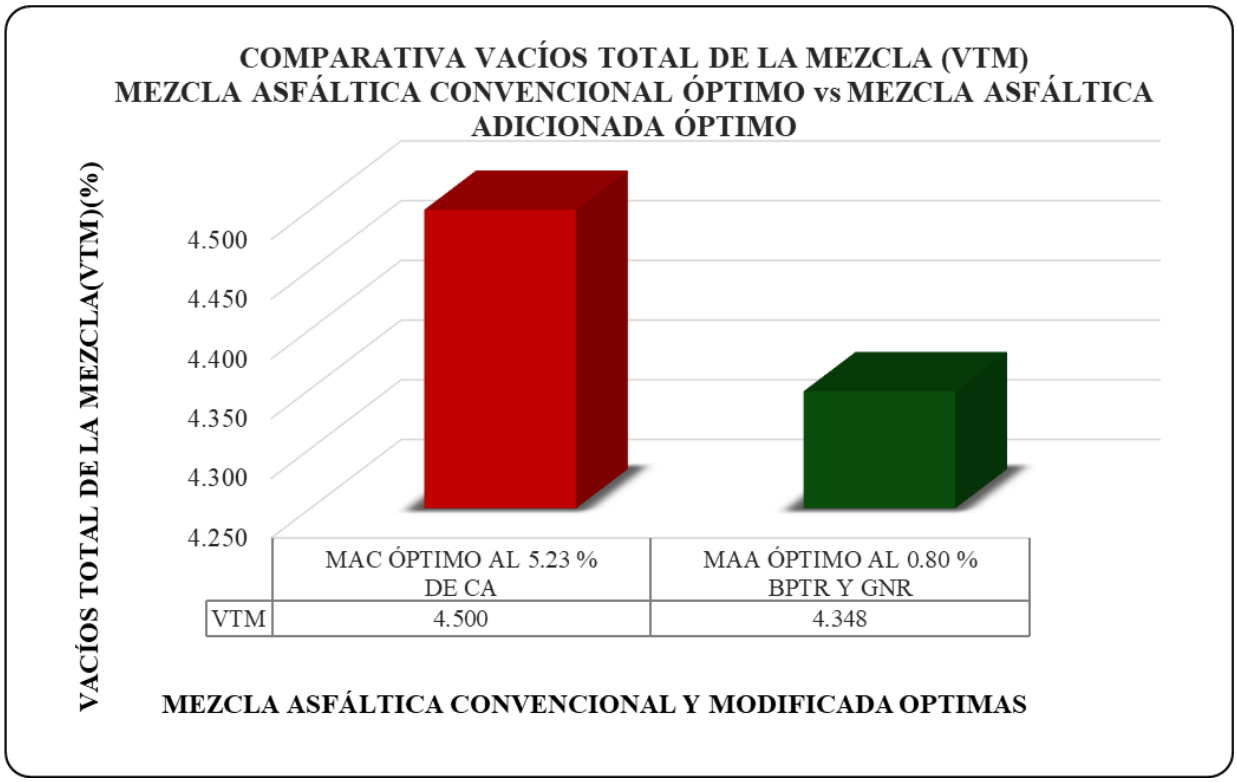


Figura 227. Comparativa del VTM de MAC óptimo vs. MAA óptimo.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

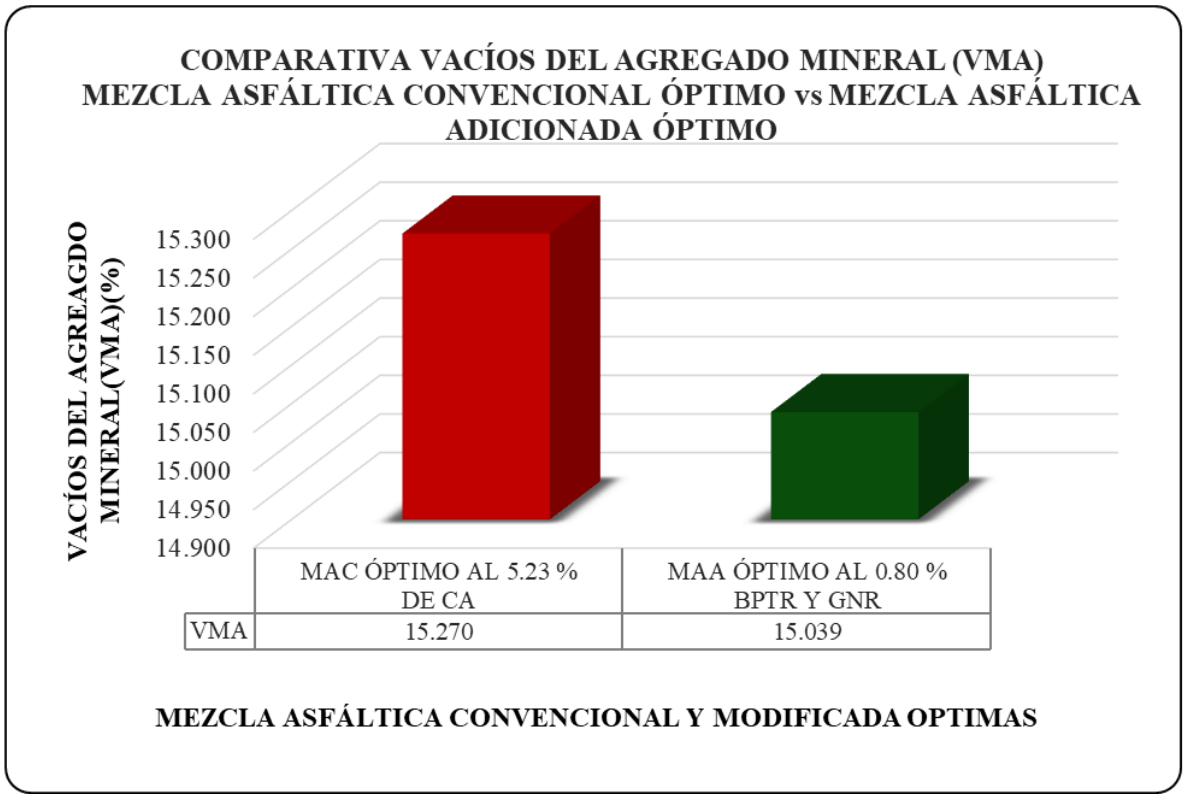


Figura 228. Comparativa del VMA de MAC óptimo vs. MAA óptimo.

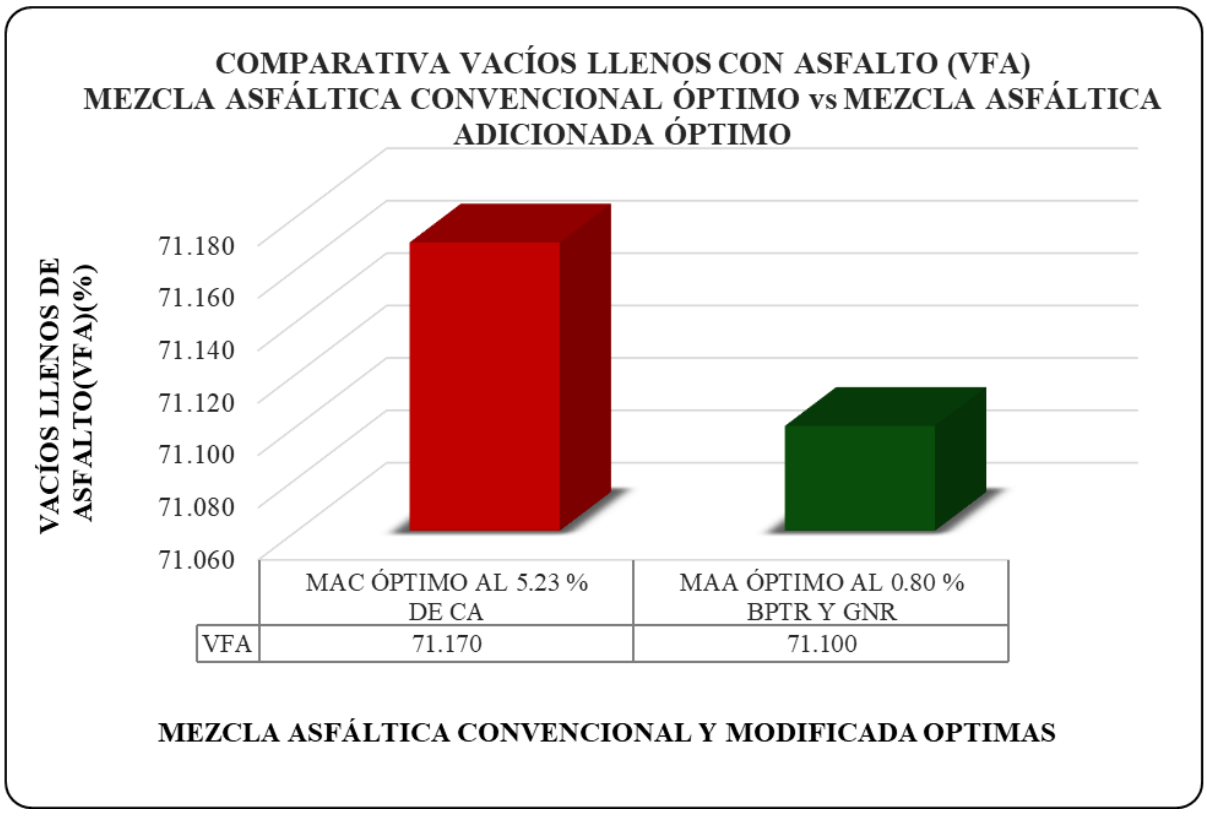


Figura 229. Comparativa del VFA de MAC óptimo vs. MAA óptimo.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

4.1.4.2 Estabilidad y flujo Marshall de Mezcla asfáltica convencional y Mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR en porcentajes óptimos

a) Tabla de resultados

Figura 230. Variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.

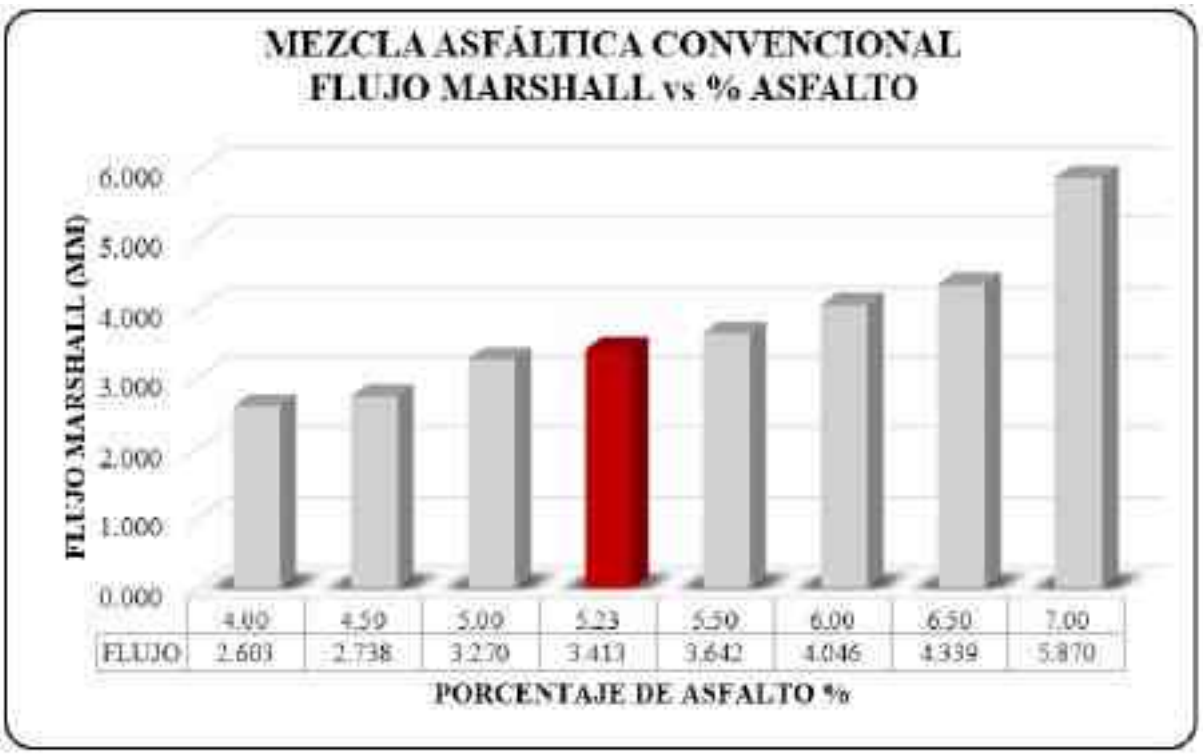


Figura 231. Variación del flujo de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Figura 232. Variación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.

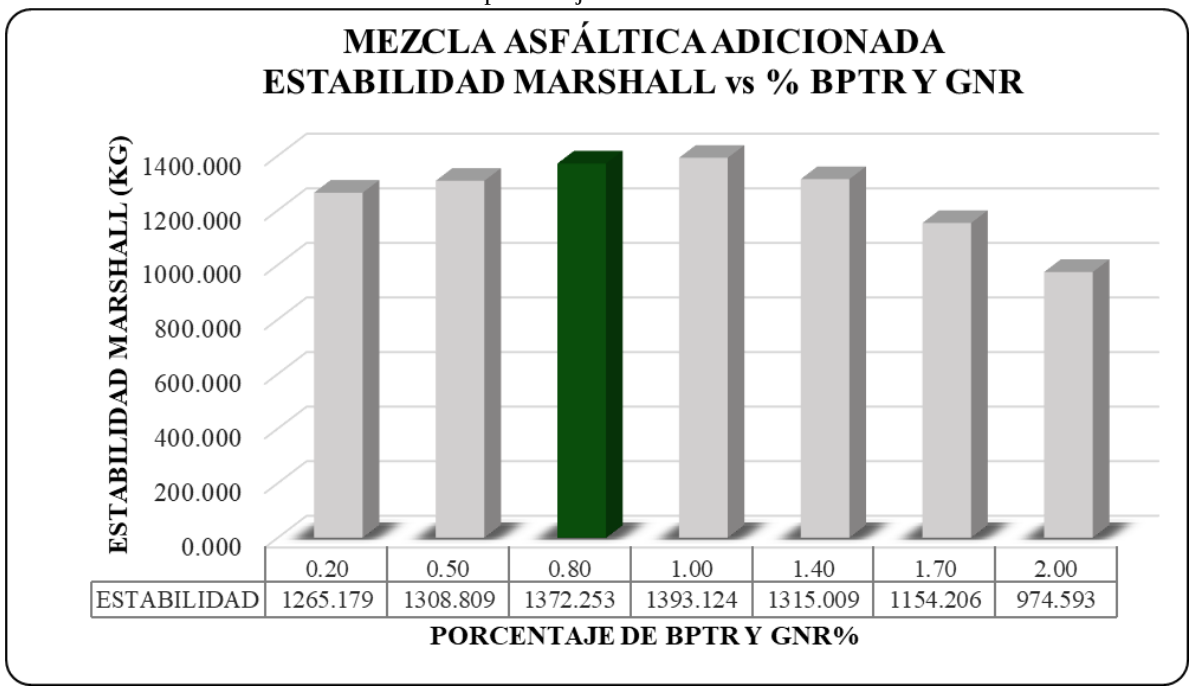


Figura 233. Variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

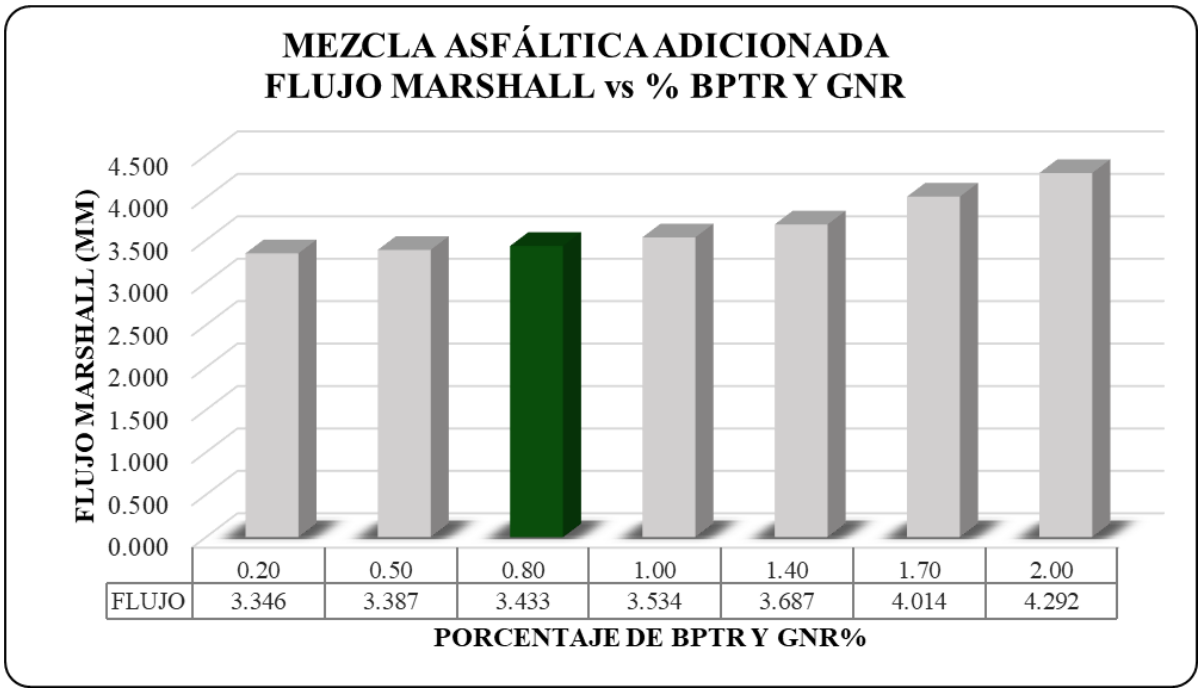


Figura 234. Variación del flujo de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición.

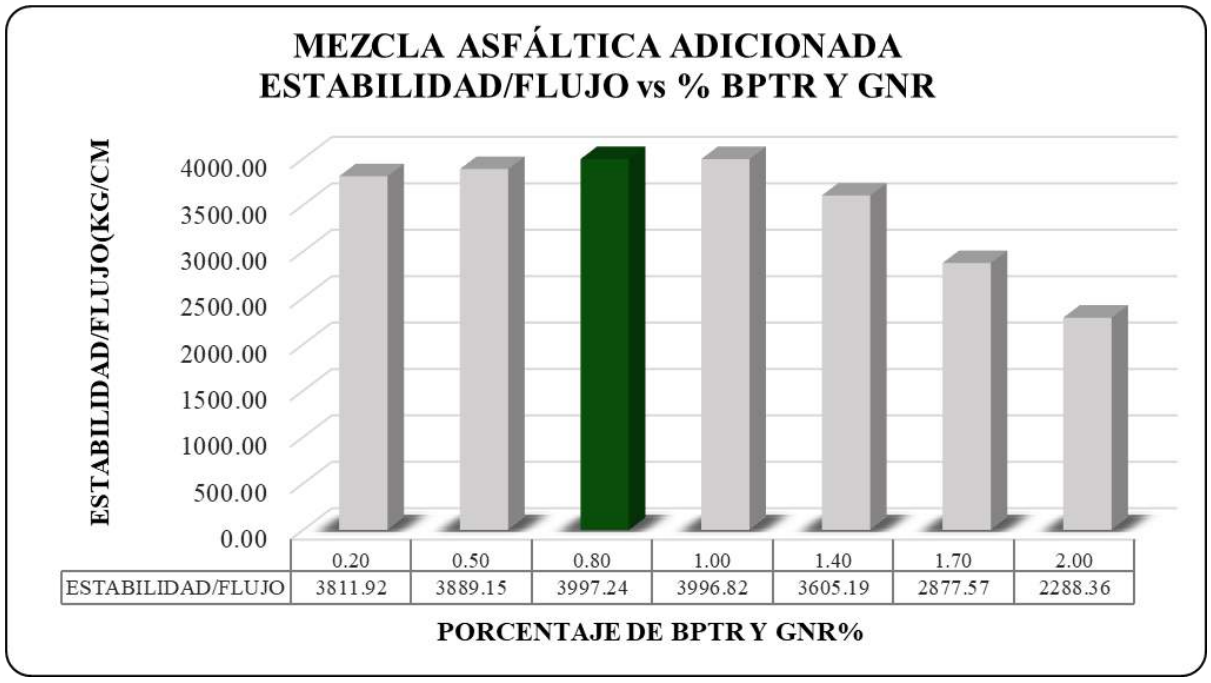


Figura 235. Variación de la relación flujo/estabilidad de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Tabla 472

Comparación de la estabilidad y flujo Marshall de las mezclas asfálticas convencional y adicionada en sus porcentajes óptimos

PROPIEDAD MECÁNICA	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CA: 5.23%	MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CA: 5.23% BPTR Y GNR: 0.80%	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE 0.10
ESTABILIDAD MARSHALL (kg)	1305.676	1372.253	Min. 815 Kg	Min. 8.16 KN Min. 832 Kg
FLUJO MARSHALL(mm)	3.413	3.433	2 - 3.5 mm 8 - 14 (0.25mm)	2 - 3.5 mm 8 - 14 (0.25mm)
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/cm)	3825.596	3997.242	1700 - 4000	-

Nota. Fuente: Propia.

b) Análisis de resultados

Los resultados de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto y la mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada con BPTR y GNR:0.80% cumplen todos los requerimientos indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE).

Se observa que la mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada con BPTR y GNR:0.80% da mejores resultados frente a la mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto respecto a la estabilidad. Además, da resultados menos favorables respecto al flujo sin embargo este sigue cumpliendo con los requerimientos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

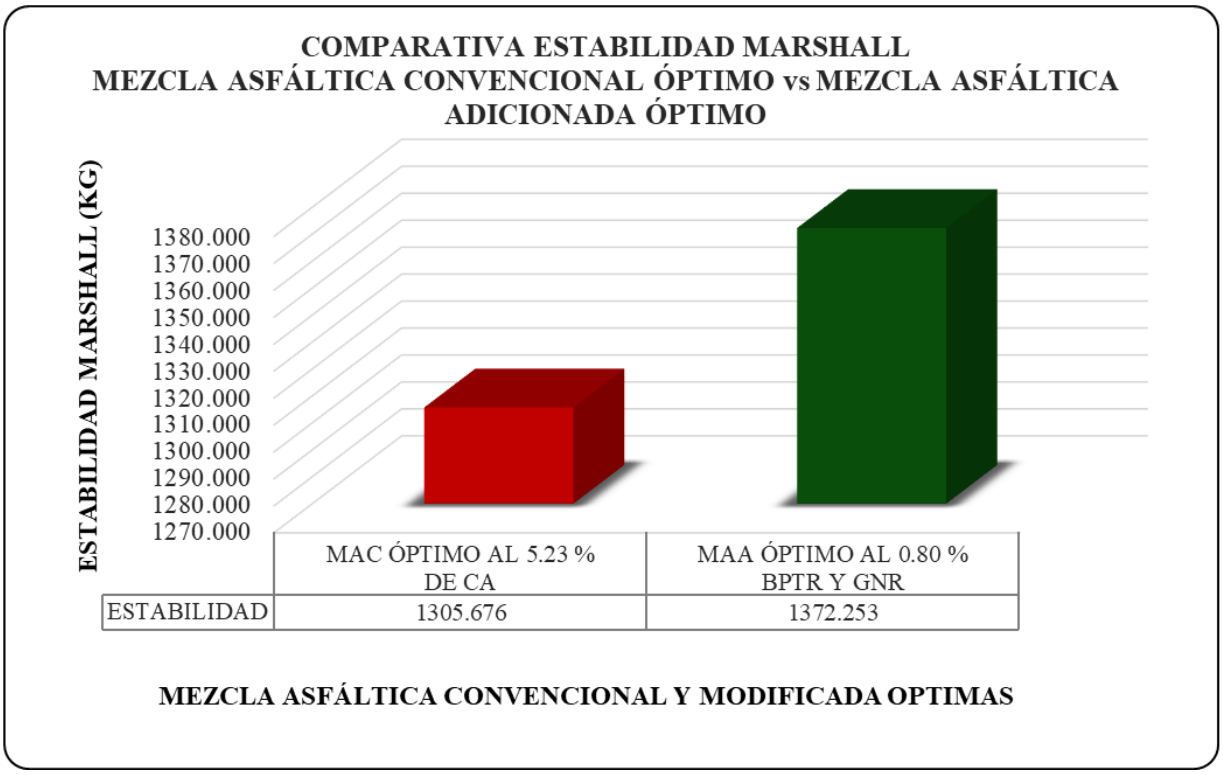


Figura 236. Comparativa de la estabilidad de MAC óptimo vs. MAA óptimo.

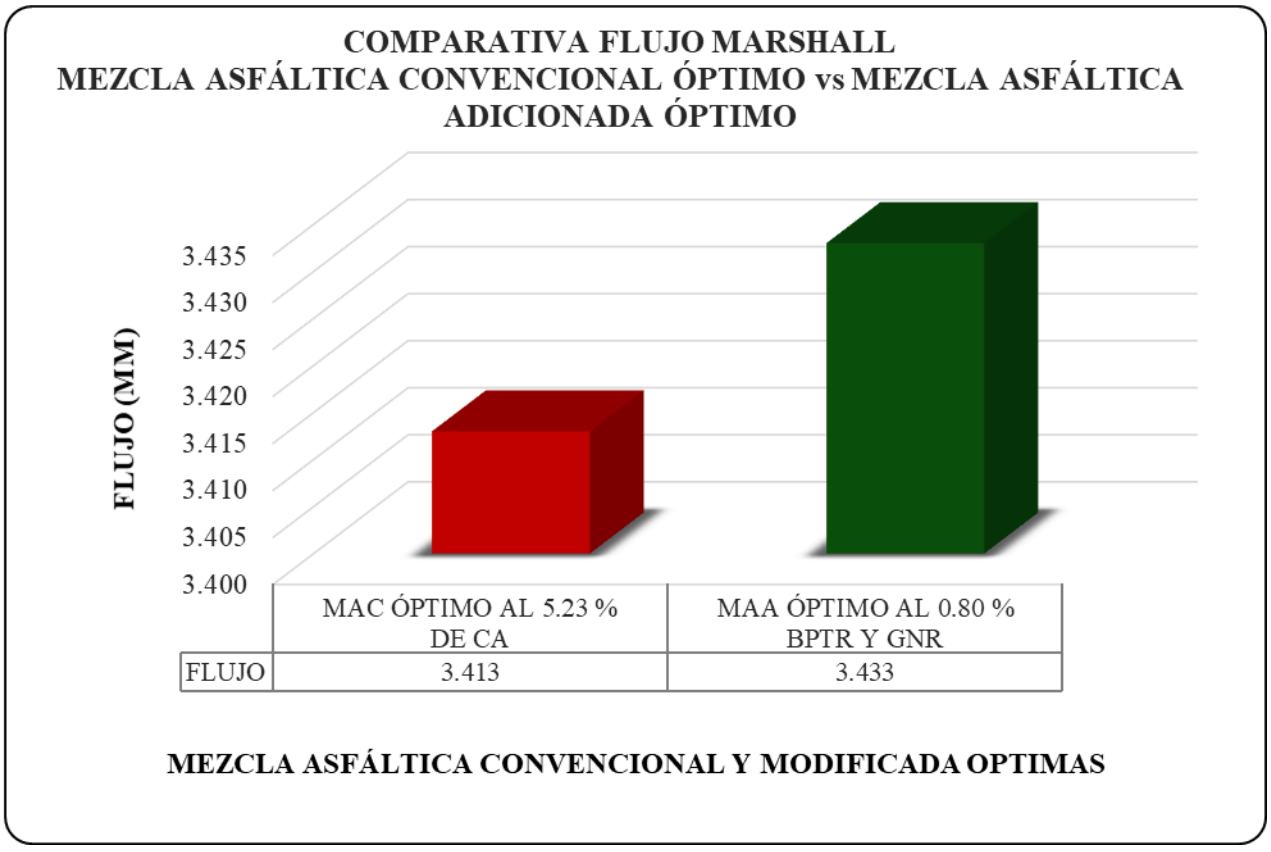


Figura 237. Comparativa del flujo de MAC óptimo vs. MAA óptimo.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

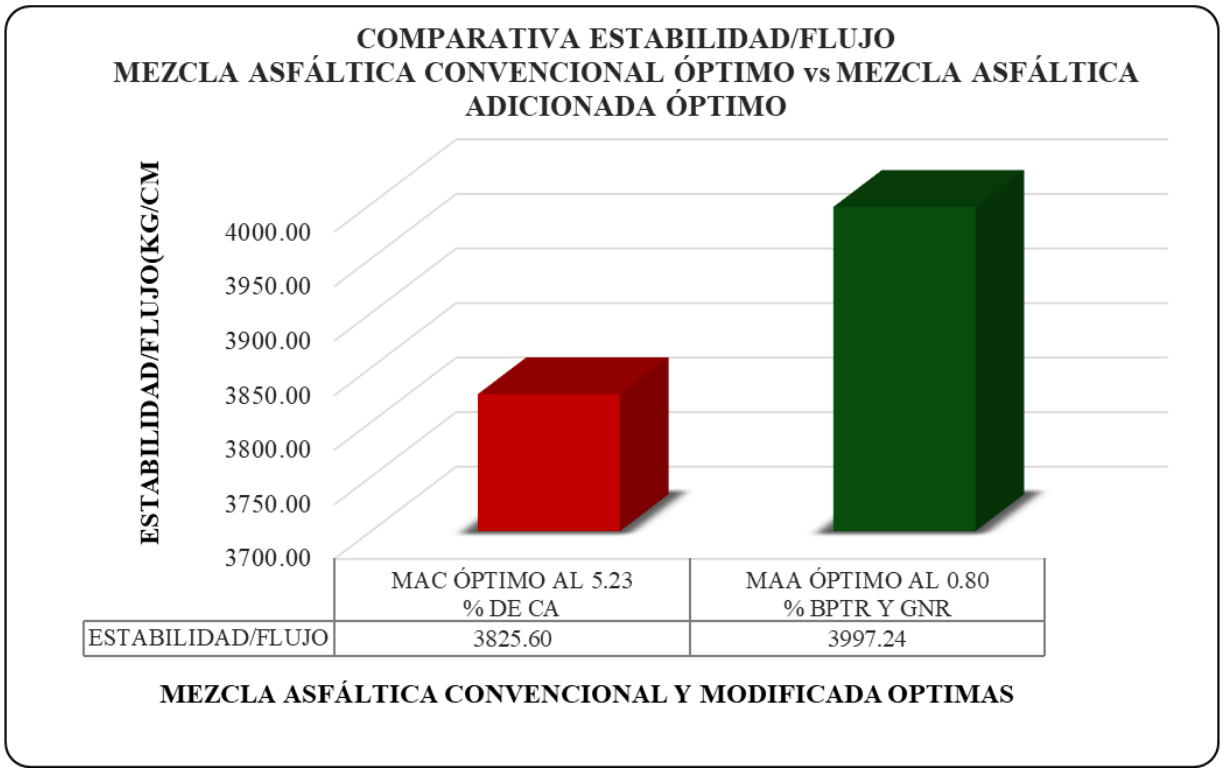


Figura 238. Comparativa de la relación estabilidad/flujo de MAC óptimo vs. MAA óptimo.

4.1.4.3 Resistencia al daño inducido por humedad (Lottman Modificado) en la mezcla asfáltica convencional y Mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR en porcentajes óptimos

a) Tabla de resultados

Tabla 473

Comparación de resultados de resistencia al daño inducido por humedad (Lottman Modificado) de la mezcla asfáltica convencional y adicionada en porcentajes óptimos

PROPIEDAD MECÁNICA	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CA: 5.23%	MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CA: 5.23% BPTR Y GNR: 0.80%	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE 0.10
TSR (%)	81.95	84.32	Min. 80%	-

Nota. Fuente: Propia.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

b) Análisis de resultados

Los resultados de resistencia al daño inducido por humedad(Lottman Modificado) de la mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto y la mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada con BPTR y GNR:0.80% cumplen todos los requerimientos indicados en el Manual de carreteras "Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013" dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE).

Se observa que la mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada con BPTR y GNR:0.80% da mejores resultados frente a la mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto respecto a la resistencia al daño inducido por humedad (Lottman Modificado).

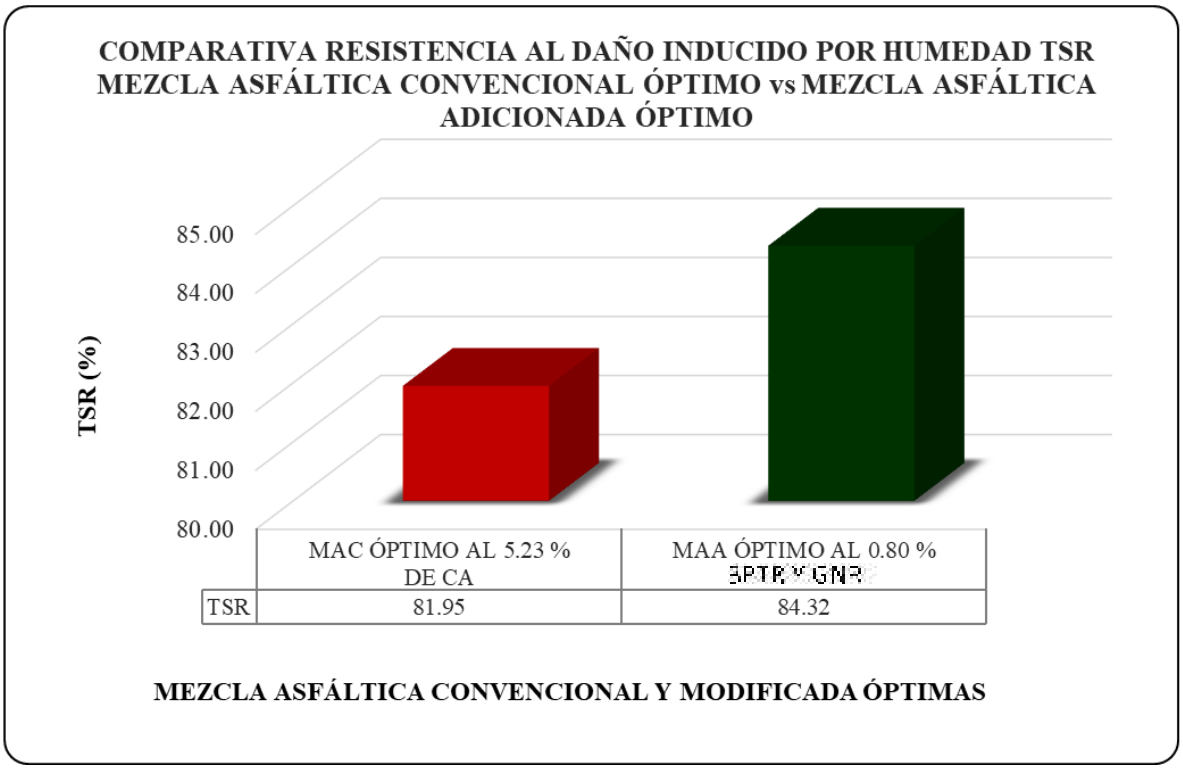


Figura 239. Comparativa de la resistencia al daño inducido por humedad TSR entre la mezcla asfáltica convencional óptimo vs Mezcla asfáltica adicionada óptimo.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

4.1.4.4 Resistencia a la deformación permanente-Rueda de Hamburgo en la mezcla asfáltica convencional y Mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR en porcentajes óptimos

a) Tabla de resultados

Tabla 474

Comparación de resultados de resistencia a la deformación permanente de la mezcla asfáltica convencional y adicionada en porcentajes óptimos

PARÁMETROS	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CA: 5.23%	MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CA: 5.23% BPTR Y GNR: 0.80%
DENSIDAD MÁX TEORICA	2.449	2.425
CONTENIDO DE ASFALTO	5.23%	5.23%
# DE PASADAS	17380	17380
PROFUNDIDAD DE HUELLA (mm)	12.50	9.07

b) Análisis de resultados

Se observa que la mezcla asfáltica al 5.23% de asfalto adicionada con BPTR y GNR:0.80% da mejores resultados frente a la mezcla asfáltica convencional al 5.23% de asfalto respecto a la resistencia a la deformación permanente, obteniendo para un mismo número de pasadas (17380) de la rueda cargada de Hamburgo, una profundidad de ahuellamiento menor que la mezcla asfáltica convencional, sin embargo, no se llega a cumplir el requisito de 20000 pasadas.

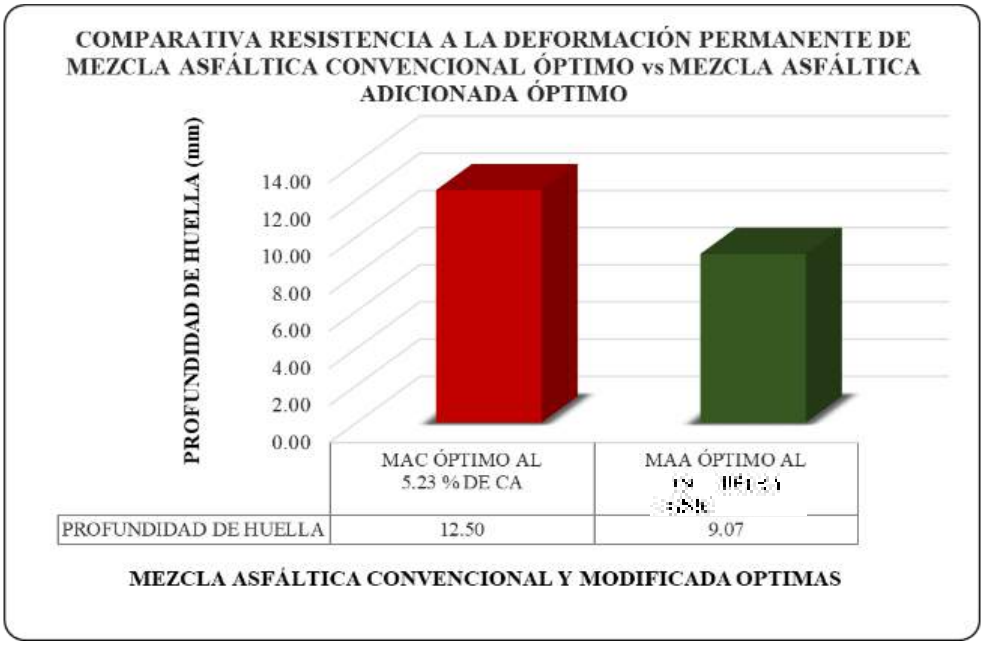


Figura 240 Comparativa de la resistencia a la deformación permanente entre la mezcla asfáltica convencional óptimo vs Mezcla asfáltica adicionada óptimo.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Capítulo V :Discusiones

a) Contraste de resultados con referentes del marco teórico.

1. Respecto al antecedente “DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONANDO ELASTÓMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018.”, en el cual se obtiene una mejora en la estabilidad en un 2%. En la presente investigación se obtienen resultados de estabilidad para la mezcla asfáltica convencional de 1305.67 kg, y para la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR 1372.25 kg, en el cual se obtiene una mejora de 5%.

2. Respecto al antecedente “ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD MARSHALL Y LA DEFORMACIÓN PERMANENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA EN CALIENTE CON FIBRAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADAS RECICLADO EN LA CIUDAD DEL CUSCO-2018”, en el cual se obtiene una mejora a la resistencia a la deformación permanente en un 24%. En la presente investigación se obtienen resultados de resistencia a la deformación permanente, los cuales se miden mediante la profundidad de ahuellamiento, se tiene para la mezcla asfáltica convencional 12.50mm y para la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR 9.07mm, en el cual se obtiene una mejora de 27%.

3. Respecto al antecedente “DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE ADICIONADAS CON ELASTÓMERO (CAUCHO) Y TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO AC-20”, en el cual no presenta una mejora respecto al flujo Marshall superando 1.9 décimas de pulgada respecto a la norma. En la presente investigación se obtiene flujos Marshall para la mezcla asfáltica convencional 3.413mm y para la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR 3.433mm, en el cual se obtiene un incremento de 0.020mm.

4. Respecto al antecedente “MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON UN ELASTÓMERO(CAUCHO) Y UN PLASTÓMERO (TIRAS DE BOLSAS DE LECHE) CON ASFALTO 80-100”, se obtienen una reducción del 8% de ahuellamiento para una proporción de 75/25 respectivamente. En la presente investigación se realizó la adición de BPTR y GNR en una proporción 25/75 respectivamente, obteniéndose una reducción de ahuellamiento de 27%.

5. ¿Por qué se utilizó la proporción de 25% de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y 75% de Granos de neumáticos reciclados (GNR) como adicionantes en la Mezcla Asfáltica?

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Se utilizó la proporción de 25% de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y 75% de Granos de neumáticos reciclados (GNR) como adicionantes en la Mezcla Asfáltica en base a los antecedentes internacionales "MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON UN ELASTÓMERO(CAUCHO) Y UN PLASTÓMERO (TIRAS DE BOLSAS DE LECHE) CON ASFALTO 80-100", en cual se realiza y se hace uso de esta proporción para los materiales.

6. ¿Por qué se utiliza una gradación de aplicación (Partículas pasantes el tamiz #10 y retenido en el tamiz #40) de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) en la Mezcla Asfáltica adicionada?

Utilizamos una gradación de aplicación de partículas pasantes el tamiz #10 y retenido en el tamiz #40 tanto de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) como de Granos de neumáticos reciclados (GNR) en la Mezcla Asfáltica adicionada de acuerdo al antecedente "DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE ADICIONADAS CON ELASTÓMERO (CAUCHO) Y TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO AC-20", con la finalidad de poder tener una gradación controlada es decir que ambos materiales tengan una gradación uniforme y no tan dispersa, así como también al ser partículas más pequeñas obtenemos una mejor adherencia con la mezcla.

7. ¿Por qué se utilizó la combinación de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) como adicionantes en la Mezcla Asfáltica?

Se utilizó Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) como adicionantes en la Mezcla Asfáltica para que, al ser aplicadas en la región del Cusco y haciendo uso de materiales (agregados, cemento asfaltico, BPTR y GNR) de dicha región, se determine el compartimiento mecánico de esta adición, los cuales según los antecedentes se tienen resultados satisfactorios respecto a su comportamiento mecánico.

b) Interpretación de los resultados encontrados en la investigación

1. En la presente investigación, se obtienen resultados de paramétricos volumétricos adecuados para ambas mezclas asfálticas los cuales nos determinaran un probable comportamiento mecánico de estas, para los cuales se obtuvieron resultados de Mezcla asfáltica convencional de Peso específico 2.339 gr/cm3 , VTM 4.500% , VMA 15.270% y VFA 71.17% frente a la mezcla asfáltica adicionada con Peso específico 2.319 gr/cm3 , VTM 4.348% , VMA 15.039% y VFA 71.10%.

Asimismo, se obtienen resultados de estabilidad Marshall para la mezcla asfáltica convencional de 1305.67 kg frente a una estabilidad Marshall para la mezcla asfáltica adicionada de 1372.25 kg, en el cual se refleja un incremento para esta variable en la mezcla asfáltica adicionada,

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

demostrando una mayor resistencia a la deformación a la carga máxima a la que fue sometida, el cual se vería reflejado en campo en una mayor resistencia a deformaciones bajo cargas de tránsito.

De igual manera, se obtienen resultados de flujo Marshall para la mezcla asfáltica convencional de 3.413mm frente a un flujo Marshall para la mezcla asfáltica adicionada de 3.433mm, en el cual se refleja un incremento para esta variable en la mezcla asfáltica adicionada (no favorable), el cual nos indica que se tiene una mayor deformación vertical para la carga máxima sometida (estabilidad Marshall) , sin embargo ambas mezclas asfálticas presentan un flujo adecuado ya que cumplen con las normas establecidas por lo tanto, al ser aplicado en campo esto no sería perjudicial para el correcto funcionamiento ya que no llegaría a tener un comportamiento altamente plástico lo cual generaría deformaciones excesivas bajo cargas.

De la misma forma se tienen los resultados de resistencia al daño inducido por humedad, para la mezcla asfáltica convencional de 81.95% frente a una resistencia al daño inducido por humedad para la mezcla asfáltica adicionada de 84.32% , en el cual se refleja un incremento para esta variable en la mezcla asfáltica adicionada, presentando una mayor resistencia al daño por humedad lo cual se vería reflejado en una mayor durabilidad de la mezcla asfáltica adicionada ya que este tendría un mejor comportamiento ante efectos del agua evitando así una degradación prematura.

Finalmente se tiene los resultados de resistencia a la deformación permanente que se miden de acuerdo a la profundidad de ahuellamiento, para la mezcla asfáltica convencional de 12.50mm frente a un ahuellamiento para la mezcla asfáltica adicionada de 9.07mm, presentando así una mayor resistencia a la deformación permanente, lo cual se vería reflejado en la reducción del ahuellamiento al ser sometido cargas repetidas de tránsito mejorando el confort y seguridad de la vía.

c) Comentario de la demostración de la hipótesis

1. ¿La adición de BPTR y GNR en las mezclas asfálticas, resulta favorable para el comportamiento mecánico?

Tras la evaluación del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica adicionada con BPTR y GNR, se presentó una mejora frente a la mezcla asfáltica convencional, ya que la mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco presentará valores de parámetros volumétricos más óptimos frente una mezcla asfáltica convencional con agregados de la región del Cusco, con respecto a la estabilidad la mezcla asfáltica adicionada presenta una

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

estabilidad Marshall de 1372.25 kg frente a una estabilidad Marshall de 1305.67 kg correspondiente a la mezcla asfáltica convencional, con respecto al flujo Marshall la mezcla asfáltica adicionada presenta un flujo de 3.433 mm frente a un flujo de 4.413 mm correspondiente a la mezcla asfáltica convencional resaltando que este flujo va relacionada a la fuerza aplicada, presenta un %TSR de 84.32% frente a un %TSR de 81.95% la mezcla asfáltica convencional presentando así una mejora en la resistencia al daño inducido por humedad, por último la mezcla asfáltica adicionada presenta una profundidad de ahuellamiento de 9.07mm a las 17380 número de pasadas o ciclos frente a una profundidad de ahuellamiento de 12.50mm a 17380 número de pasadas o ciclos de la mezcla asfáltica convencional con lo cual se muestra que la mezcla asfáltica adicionada presenta una mejora en la resistencia a la deformación permanente.

d) Aporte de la investigación

1. ¿De qué manera aporta la presente investigación a la ingeniería civil en la rama de pavimentos?

La presente investigación aporta en la información que se tiene acerca del comportamiento de las mezclas asfálticas adicionadas con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) respecto a sus parámetros volumétricos y comportamiento mecánico. Asimismo, aporta al conocimiento de nuevas tecnologías que podrían ser aplicadas a los pavimentos flexibles y de esta manera aumentar el tiempo de vida útil de los pavimentos y prolongar el mantenimiento de estos y así reducir costos.

e) Incorporación de temas que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación.

1. Aplicación de los husos granulométricos por metodología SUPERPAVE

Durante la elaboración de la presente investigación se hace uso de los husos granulométricos de la metodología SUPERPAVE, con la finalidad de obtener un mejor control de la gradación de los materiales y también para obtener mejores resultados de en el ensayo de rueda de Hamburgo, ya que para la realización de este ensayo un factor importante es la gradación de los agregados, de acuerdo a la metodología.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

2. ¿De qué manera se puede garantizar el control de calidad de las Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) para el Diseño de una Mezcla Asfáltica?

Para el control de calidad de las Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), se realizo una cuidadosa selección de los materiales priorizando que los materiales sean de una misma composición y uniformidad para no tener una variación en los resultados obtenidos, es así, que para el BPTR se realizó una selección únicamente de botellas de Coca Cola, los cuales previamente pasan por un proceso de lavado para que estén libres de impurezas y de colorantes enseguida, fueron llevados a un proceso de trituración, de igual manera, para el GNR, se realizo una selección cuidadosa de llantas de vehículos livianos (automóviles, camionetas), de la marca Good year, con la finalidad de obtener uniformidad, estos también fueron previamente lavados para eliminar las impurezas, y enseguida a un proceso de trituración. Finalmente, para el control de calidad en laboratorio y conocer las propiedades de peso específico y su gradación de estos materiales se realizaron los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico del agregados gruesos y finos- MTC E 204: con la finalidad de conocer la gradación de ambos materiales de adición, así determinar si cumplen las especificaciones técnicas; y determinar que tamaño de partículas preponderan mas en su distribución granulométrica y
- Peso específico y absorción de agregados gruesos- MTC E 206: con la finalidad de determinar los pesos específicos de estos materiales, los cuales son de suma importancia para el diseño de mezclas asfálticas adicionadas por el método Marshall.

3. ¿Al utilizar Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) en una Mezcla Asfáltica, se puede reducir el daño producido al Medio Ambiente?

Si, debido a que los materiales que se utilizaron en la presente investigación son de origen reciclado, las Botellas de plástico trituradas recicladas BPTR se obtiene de botellas de plástico desechadas, asimismo el Granos de neumáticos reciclados GNR se obtiene de llantas en desuso de vehículos motores, por lo tanto, estaría contribuyendo al reciclaje y aprovechamiento de estos materiales como materia prima para la fabricación de nuevas mezclas asfálticas y favorecer de esa manera a la conservación del medio ambiente, reduciendo la cantidad de solidos que llegan a los botaderos.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

4. ¿Fueron adecuados los porcentajes de adición de 0.20 %, 0.50%,0.80%,1.00%,1.40%,1.70% y 2.00% de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) en una proporción 25/75 respectivamente en la Mezcla Asfáltica?

Los porcentajes de adición fueron adecuados debido a que se obtuvieron curvas (puntos mínimos, máximos y deflexiones) en las cuales era posible obtener un porcentaje de adición óptimo de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR).

5. ¿Qué consideraciones se debe tener en cuenta para el control de la Mezcla Asfáltica durante su preparación?

Para el control de la mezcla asfáltica durante su preparación se deben tener en cuenta distintos factores que pueden incidir en los resultados del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas tales como:

- Temperatura de agregados, Temperatura del cemento asfáltico, Temperatura de la mezcla asfáltica, Temperatura de los moldes de compactación Marshall, Temperatura de la muestra al compactarse: se determinó durante la elaboración de la presente tesis, que el factor de temperatura de los materiales, durante la mezcla y la compactación, es muy importante e influyente en los resultados del comportamiento mecánico de la muestra, ya que cuando se tienen temperaturas muy altas (superiores a 140° C) , se pierden propiedades ligantes del cemento asfaltico, obtenido así una mala compactación y por lo tanto posibles datos de comportamiento mecánico no fiables.
- Control del número de golpes de la muestra por cara: se determinó durante la elaboración de la presente tesis, que el numero de golpes es importante durante la compactación de la muestra, ya que, si no se controla el número de acuerdo a lo especificado, podrían obtenerse muestras compactadas que tendrán valores de comportamiento mecánico muy variables.

6. ¿Qué consideraciones se debe tener en cuenta para el control de la Mezcla Asfáltica durante la ejecución del ensayo Marshall y de resistencia al daño inducido por humedad?

Para el control de la mezcla asfáltica durante la ejecución del ensayo Marshall y de resistencia al daño inducido por humedad se deben tener en cuenta distintos factores que pueden incidir en los resultados del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas tales como:

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

- Temperatura de las muestras en baño maría: ya que un exceso de temperatura en el baño maría, hará que la muestra compactada, sea más plástica al momento de la rotura Marshall, obteniendo valores bajos de estabilidad y altos de fluencia, los cuales no serian satisfactorios de acuerdo a norma y tampoco serian datos fiables.
- Tiempo de las muestras en baño maría: De igual manera, un exceso de tiempo en el baño maría, hará que la muestra compactada sea más plástica, obtenido posibles datos errados.

7. ¿La combinación de agregados gruesos de Morro Blanco, arena triturada de Morro Blanco, arena fina de Cunyac y Filler Cemento Portland cumplió con la granulometría para mezclas asfálticas especificada por la norma EG-2013?

Si, la combinación de agregados gruesos de Morro Blanco, arena triturada de Morro Blanco, arena fina de Cunyac y Filler Cemento Portland cumple con los parámetros establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) (Huso granulométrico MAC-2 y huso granulométrico SUPERPAVE) , sin embargo, de acuerdo a la metodología SUPERPAVE se hace uso de los husos granulométricos Superpave 12.5 mm y no verifica con el primer punto de control ,los cuales se realizaron por el método gráfico y fueron verificados mediante ensayos de granulometría de dicha combinación.

8. ¿Es factible aplicar la tecnología de la presente investigación en obra considerando grandes volúmenes de mezcla asfáltica?

Si es factible, ya que primeramente los materiales son de fácil adquisición, ya que actualmente en el Perú se cuentan con diversas empresas dedicadas al reciclaje de ambos materiales, los cuales tienen la capacidad de abastecer grandes volúmenes de este material, asimismo, debido a que la incorporación de estos materiales es mediante un proceso seco, se puede realizar este procedimiento en las mismas plantas de asfalto y para la aplicación de esta mezcla es factible realizarlo de forma convencional con un correcto control de temperaturas y compactación en obra.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Glosario

A

AGREGADO

Material Granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

AGREGADO FINO

Se define como aquel material proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz 3/8” y queda retenido en el tamiz N° 200.

AGREGADO GRUESO

Es aquel material proveniente de la desintegración de rocas, que se puede clasificarse en piedra chancada o grava, el cual es retenido en el tamiz N° 4.

AHUELLAMIENTO

El ahuellamiento es un tipo de falla que se produce en pavimentos asfálticos, que consiste en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos. Se produce en pavimentos asfálticos sometidos a una combinación de elevados niveles de tránsito, tráfico pesado y/o lento, y altas temperaturas de servicio.

ASFALTO

También conocido como bitumen. Es líquido, viscoso, color negro o gris oscuro. Los compuestos básicos son los hidrocarburos y derivados. Además, es un material súper impermeable, adherente e ideal para construir pavimentos. Su consistencia depende de la temperatura.

B

BASE

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

C

CEMENTO ASFÁLTICO

El cemento asfaltico es un material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro, que se ablanda gradualmente al calentarse y cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos pesados, que se obtienen de la refinación del petróleo.

D

DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD

Problema generalizado en pavimentos asfálticos que conlleva a la ocurrencia de fallas prematuras. Este tipo de daño puede ocurrir debido a una pérdida de adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado, o a la difusión de humedad a través del mástic asfáltico, debilitando la estructura de la mezcla y haciéndola más susceptible a cargas cíclicas

DEFORMACIÓN PERMANENTE

Aquella deformación que no se recupera se acumula con cada repetición del ciclo, estas deformaciones generan hundimientos o desplazamientos que, en exceso, pueden generar fallas funcionales y/o estructurales en el pavimento.

DENSIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

E

ESTABILIDAD MARSHALL

Se define la estabilidad Marshall como el número total de newtons (N) necesarios para producir la falla de la probeta a 60º C

F

FILLER

Sustancias finamente divididas las cuales son insolubles en asfalto pero que pueden ser dispersadas en él, como un medio de modificar sus propiedades mecánicas y consistencia

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

FLUJO MARSHALL

Deformación del espécimen de asfalto al punto de máxima carga.

L

LOTTMAN MODIFICADO

Ensayos más utilizados para determinar la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas

M

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Se define como mezcla asfáltica (o bituminosa) en caliente a la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante.

P

PAVIMENTO

Conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

PAVIMENTO FLEXIBLE

Aquel pavimento que está compuesto por una capa o carpeta asfáltica que utiliza una mezcla de agregado grueso o fino (piedra machacada, grava y arena) con material bituminoso obtenido del asfalto o BPTRróleo

R

RODERAS

Las roderas, son las huellas que se presentan en la superficie de una carretera pavimentada y que son el resultado de la densificación o movimiento lateral de los materiales que la constituyen por efectos del tránsito.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

RUEDA CARGADA DE HAMBURGO

Equipo se utiliza para determinar la resistencia a la deformación permanente de mezclas asfálticas, para evitar la formación de las roderas y ahuellamiento.

S

SUB BASE

Capa que se encuentra entre la base y la subrasante en un pavimento asfáltico. Debido a que está sometida a esfuerzos menores que la base, su calidad suele ser inferior.

SUBRASANTE

Se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.

SUPERPAVE

Metodología de diseño de mezclas asfálticas que se basan en medir propiedades fundamentales de los asfaltos, esto es aquellas que pueden relacionar tensiones deformaciones en el material

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Nomenclatura

BPTR	BOTELLAS DE PLÁSTICO TRITURADAS RECICLADAS
CA	CEMENTO ASFÁLTICO
GNR	GRANO DE NEUMÁTICO RECICLADO
MAC	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL
MAA	MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA
TM	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO
TMN	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO
VFA	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO
VMA	PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL
VTM	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA

Abreviaturas

ASTM	AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS (ASOCIACIÓN AMERICANA DE ENSAYO DE MATERIALES)
AASHTO	AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (ASOCIACIÓN AMERICANA DE OFICIALES DE CARRETERAS ESTATALES Y TRANSPORTES)
EG	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN
MTC	MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERÚ
SUPERPAVE	SUPERIOR PERFORMING ASPHALT PAVEMENTS

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Conclusiones

Conclusión N° 1:

Se demuestra la hipótesis general “La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco tendrá un comportamiento mecánico más óptimo frente a la mezcla asfáltica convencional.” Debido a que la mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) presenta mejores resultados respecto al comportamiento mecánico en comparación a la mezcla asfáltica convencional, tanto en parámetros volumétricos, estabilidad, resistencia al daño inducido por humedad como en resistencia a la deformación permanente.

Conclusión N° 2:

Se demuestra la primera sub hipótesis “La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco presentará valores de parámetros volumétricos más óptimos frente una mezcla asfáltica convencional con agregados de la región del Cusco.” Debido a que la mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), presenta resultados satisfactorios respecto a los parámetros volumétricos en comparación a la mezcla asfáltica convencional.

La mezcla asfáltica con un contenido de 5.23% de cemento asfáltico adicionada con 0.80% de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) presenta los siguientes parámetros volumétricos: Peso específico 2.319 gr/cm3 ,porcentaje de vacíos total de la mezcla VTM 4.348% , porcentaje de vacíos del agregado mineral VMA 15.039% y porcentaje de vacíos llenos con asfalto VFA 71.10% ; frente a los siguientes parámetros volumétricos: Peso específico 2.339 gr/cm3 ,porcentaje de vacíos total de la mezcla VTM 4.500% , porcentaje de vacíos del agregado mineral VMA 15.270% y porcentaje de vacíos llenos con asfalto VFA 71.17% de una de la mezcla asfáltica convencional con un contenido de 5.23% de cemento asfáltico. Ambos resultados, cumplen con los requerimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también en la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE) como se observa en la tabla 471. De igual forma los

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

resultados están especificados en las figuras 219,220,221,222 y en las figuras 223,224,225 y 226 respectivamente. Además, se observa en las figuras 227,228,229 y 230 una comparación de ambos resultados.

Conclusión N° 3:

Se demuestra la segunda sub hipótesis “La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco incrementará los valores de estabilidad frente una mezcla asfáltica convencional con agregados de la región del Cusco.” Debido a que la mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), presenta mejores resultados respecto a la estabilidad en comparación a la mezcla asfáltica convencional.

La mezcla asfáltica con un contenido de 5.23% de cemento asfáltico adicionada con 0.80% de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) presenta una estabilidad Marshall de 1372.25 kg frente a una estabilidad Marshall 1305.67 kg de la mezcla asfáltica convencional con un contenido de 5.23% de cemento asfáltico. Ambos resultados, cumplen con los requerimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también en la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE) como se observa en la tabla 472. De igual forma los resultados están especificados en la figura 231 y en la figura 234 respectivamente. Además, se observa en la figura 237 una comparación de ambos resultados.

Conclusión N° 4:

No se demuestra la tercera sub hipótesis “La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco disminuirá los valores de flujo frente una mezcla asfáltica convencional con agregados de la región del Cusco.” Debido a que la mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), no presenta mejores resultados respecto al flujo en comparación a la mezcla asfáltica convencional.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

La mezcla asfáltica con un contenido de 5.23% de cemento asfáltico adicionada con 0.80% de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) presenta un flujo Marshall de 3.433 mm frente a un flujo Marshall de 3.413 mm de la mezcla asfáltica convencional con un contenido de 5.23% de cemento asfáltico. Ambos resultados, cumplen con los requerimientos establecidos en el Manual de carreteras "Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013" dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también en la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE) como se observa en la tabla 472. De igual forma los resultados están especificados en la figura 232 y en la figura 235 respectivamente. Además, se observa en la figura 238 una comparación de ambos resultados.

Conclusión N° 5:

Se demuestra la cuarta sub hipótesis "La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con agregados de la región del Cusco incrementará los valores de resistencia al daño inducido por humedad frente una mezcla asfáltica convencional para sus contenidos óptimos, con agregados de la región del Cusco." Debido a que la mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) presenta mejores resultados respecto a la resistencia al daño inducido por humedad en comparación a la mezcla asfáltica convencional.

La mezcla asfáltica con un contenido de 5.23% de cemento asfáltico adicionada con 0.80% de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) presenta un %TSR (Tensile Strenght Ratio) de 84.32% frente a un %TSR (Tensile Strenght Ratio) de 81.95% la mezcla asfáltica convencional con un contenido de 5.23% de cemento asfáltico. Ambos resultados, cumplen con los requerimientos establecidos en el Manual de carreteras "Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013" dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también en la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE) como se observa en la tabla 473. Además, se observa en la figura 240 una comparación de ambos resultados.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Conclusión N° 6:

Se demuestra la quinta sub hipótesis “La mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) con agregados de la región del Cusco incrementará los valores de resistencia a la deformación permanente frente una mezcla asfáltica convencional para sus contenidos óptimos, con agregados de la región del Cusco.” Debido a que la mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) presenta mejores resultados respecto a la resistencia a la deformación permanente en comparación a la mezcla asfáltica convencional.

La mezcla asfáltica con un contenido de 5.23% de cemento asfáltico adicionada con 0.80% de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) presenta una profundidad de ahuellamiento de 9.07mm a las 17380 número de pasadas o ciclos frente a una profundidad de ahuellamiento de 12.50mm a 17380 número de pasadas o ciclos de la mezcla asfáltica convencional con un contenido de 5.23% de cemento asfáltico como se observa en la tabla 474. Además, se observa en la figura 241 una comparación de ambos resultados.

Conclusión N° 7:

Al utilizar los husos granulométricos tipo MAC 2 , de acuerdo a las especificaciones generales de construcción EG-2013 del MTC especificados en la tabla 14 y 15 , se obtiene resultados para la combinación de agregados (agregado grueso, agregados finos y filler) aceptables, ya que la granulometría cumple dentro de los rangos establecidos por el mencionado huso granulométrico, sin embargo debido a que se realiza el ensayo de Rueda cargada de Hamburgo, la granulometría debe cumplir con los husos granulométricos SUPERPAVE para TMN 12.5mm establecidos en la tabla 17, en la cual se determina que no existe una proporción de agregados y filler que cumpla con ambas especificaciones de husos granulométricos (MAC 2 y SUPERPAVE para TMN 12.5mm), debido a que el valor más aproximado que se obtiene para que cumpla los requisitos de ambas especificaciones es de 84.6% de pasante tamiz para el punto de control en 12.5mm,por lo tanto no cumple con el punto de control establecido del tamiz de 12.5mm el cual muestra un rango de porcentaje pasante de 90-100%,no obstante, en la presente investigación se utiliza agregados de la planta de asfalto de COPESCO los cuales son establecidos para un diseño marshall, mediante esta investigación se determina el

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

comportamiento de estos agregados para un diseño SUPERPAVE y se concluye que los agregados de planta de Asfalto de COPESCO no son aptos para los husos granulométricos SUPERPAVE para TMN 12.5mm, sin embargo esta granulometría cumple con los puntos de control establecidos para un TMN de 19 mm como se ve en el anexo 2, los cuales son dispuestos por la norma vigente EG-2013, la cual sería válida su utilización debido a que se obtienen resultados satisfactorios para la prueba de rueda cargada de Hamburgo; cabe resaltar que contando solamente con un diseño Marshall es posible realizar el ensayo de rueda cargada de Hamburgo con la utilización de agregados provenientes de la planta de asfalto de COPESCO(Agregado grueso de Morro blanco, Arena triturada de Morro Blanco y Arena fina de Cunyac) y cemento asfáltico PEN 120-150.

Conclusión N° 8:

El contenido óptimo de cemento asfáltico PEN 120/150, para las mezclas asfálticas tanto convencional como adicionada fue de 5.23% respecto al peso total de la muestra (1200 gr) lo cual se obtuvo mediante análisis de parámetros volumétricos (Peso específico, VTM, VMA, VFA) establecidos en las figuras 207, 208, 209 y 210 y el análisis de valores de flujo y estabilidad Marshall establecidos en las figuras 211 y 212 , los cuales cumplen con los requerimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también en la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE) especificados en las tablas 471 y 472.

Conclusión N° 9:

El contenido óptimo de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) para las mezcla asfálticas adicionada fue de 0.8% respecto al peso total de la muestra (1200 gr) lo cual se obtuvo mediante análisis de parámetros volumétricos (Peso específico, VTM, VMA, VFA) establecidos en las figuras 213, 214 ,215 y 216 y el análisis de valores de flujo y estabilidad Marshall establecidos en las figuras 217 y 218, los cuales cumplen con los requerimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también en la Norma Técnica CE.010 de

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE) especificados en la tablas 471 y 472.

Cabe resaltar que se obtuvieron valores de estabilidad más altos, sin embargo, para dichos valores las mezclas asfálticas no cumplían con lo establecido en el Manual de carreteras "Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013" dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también en la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE) , como se observa en la figura 234.

Conclusión N° 10:

Con la finalidad de validar y garantizar resultados de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas y la correcta obtención de contenidos óptimos (De cemento asfáltico y Botellas de plástico trituradas recicladas BPTR y Granos de neumáticos reciclados GNR,) se realizó tres verificaciones en el cálculo de diseño Marshall para cada porcentaje de cemento asfáltico PEN 120/150 y de adición Botellas de plástico trituradas recicladas BPTR y Granos de neumáticos reciclados GNR las cuales se encuentran en verificaciones de resultados del ensayo establecidos en el numeral 3.6.6.2 y 3.6.7.2 respectivamente, se concluye que se cumplen con los requerimientos establecidos por el Diseño Marshall.

Conclusión N° 11:

Se concluye que el tamaño elegido para la adición de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) fue el correcto debido a que al tener partículas uniformes y pequeñas se logró que las partículas presenten una mejor adherencia con el cemento asfáltico logrando así una mejor combinación de los componentes de la mezcla asfáltica.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Recomendaciones

Recomendación N° 1:

Se recomienda que para el proceso de granulometría de agregados se tome en cuenta todos los procedimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) ya que cualquier variación en estos resultados podría traer consigo errores en la combinación de agregados y por ende en la dosificación de las mezclas asfálticas. Asimismo, realizar la verificación en laboratorio de la combinación de agregados y filler dispuesta para la mezcla asfáltica determinada por el método gráfico.

Recomendación N° 2:

Se recomienda realizar los ensayos de control de calidad de agregados tomando en cuenta todos los procedimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) minuciosamente ya que cualquier variación en estos resultados podría traer consigo errores en el diseño de mezcla asfáltica por ende en sus resultados, de preferencia realizar los ensayos un número de 3 veces para poder obtener un promedio y de esta manera acercarnos más a un resultado real.

Recomendación N° 3:

Se recomienda realizar la fabricación de mezclas teniendo en cuenta todos los procedimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) minuciosamente ya que cualquier variación en estos resultados podría traer consigo errores en el diseño de mezcla asfáltica por ende en sus resultados, asimismo tener cuidado en factores externos que podrían cambiar el resultado real , tales como son:

- Temperatura de agregados; colocar los agregados en el horno hasta que mantengan la temperatura constante solicitada (140°C).
- Temperatura del cemento asfáltico; calentar el cemento asfáltico hasta tener la temperatura adecuada (140°C) y proceder a usarla rápidamente en la mezcla.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

- Temperatura de la mezcla asfáltica; se debe tener un control de la temperatura de la mezcla asfáltica en todo momento.
- Temperatura de la muestra al compactarse; los moldes de compactación deben estar en la temperatura adecuada (140°C) justo antes de usarse para que la mezcla asfáltica no varíe en su temperatura de compactación (140°C), asimismo la mezcla asfáltica al término del proceso de mezcla debe colocarse inmediatamente en el compactador y realizar el compactado y de esta forma no tener variaciones de temperatura.
- Control del número de golpes de la muestra por cara; al momento de compactación cerciorarse del número de golpes aplicados por cara en la muestra, de acuerdo al volumen de tránsito para el que es realizado.

Así como también se recomienda tener cuidado en la manipulación de todos los equipos y materiales usados en laboratorio para lo cual se debe tener equipos de protección personal de acuerdo al ensayo a realizarse.

Recomendación N° 4:

Se recomienda realizar la ejecución del ensayo Marshall y resistencia al daño inducido por humedad teniendo en cuenta todos los procedimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) y seguirlos minuciosamente ya que cualquier variación en estos resultados podría traer consigo errores en el diseño de mezcla asfáltica por ende en sus resultados, asimismo tener cuidado en factores externos que podrían cambiar el resultado real , tales como son:

- Temperatura de las muestras en baño maría; se debe mantener un control continuo de la temperatura de las muestras al encontrarse en baño maría.
- Tiempo de las muestras en baño maría; se deben colocar las muestras con tiempos controlados, de preferencia colocarlas cada 3 minutos cada una y de esta forma las muestras estén el tiempo especificados en la norma.

Recomendación N°5:

Se recomienda realizar un análisis comparativo de costos de ambas mezclas asfálticas, con la finalidad de obtener el costo de los recursos materiales que se emplean en cada una de las

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

mezclas, determinar el costo de producción y con ello establecer el costo-beneficio de ambas mezclas asfálticas.

Recomendación N°6:

En la presente investigación, se analizó el comportamiento de una mezcla asfáltica al adicionar Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) con tamaños pasantes el tamiz #10 y retenidos en el tamiz #40, es por esto que se recomiendo realizar estudios adicionando Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) con tamaños pasantes el tamiz # 200, con la finalidad de obtener una evaluación y análisis del comportamiento de la mezcla asfáltica adicionada con gradaciones diferentes.

Recomendación N°7:

En la presente tesis de investigación, se realizó un análisis comparativo de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) , utilizando Agregado Grueso de Morro Blanco, Arena Triturada de Morro Blanco y Arena Fina de Cunyac los cuales fueron provistos por la Planta de Asfalto de COPESCO. En base a esto, se recomienda utilizar las botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR) , con otros materiales pétreos que se encuentren en la Región del Cusco.

Recomendación N°8:

En la presente tesis de investigación, se realizó el análisis comparativo de ambas mezclas (convencional y adicionada) utilizando un cemento asfáltico Tipo PEN 120/150 provisto por la Planta de Asfalto de COPESCO. Se recomienda utilizar otro tipo de cemento asfáltico, con la finalidad de analizar la influencia de este en las mezclas asfálticas.

Recomendación N°9:

En la presente investigación se realizó el análisis de la resistencia al daño inducido por humedad (Lottman modificado) tanto para las mezclas asfálticas convencionales como para las mezclas asfálticas adicionadas en sus porcentajes óptimos, es por ello que se recomienda realizar un estudio de la resistencia al daño inducido por humedad (Lottman Modificado) para diferentes porcentaje de adición de cemento asfaltico y asimismo, para diferentes porcentajes de adición de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con la finalidad de analizar esta propiedad bajo diferentes porcentajes de adición.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Recomendación N°10:

En la presente investigación se realizó el análisis de la resistencia a la deformación permanente tanto para las mezclas asfálticas convencionales como para las mezclas asfálticas adicionadas en sus porcentajes óptimos ,es por ello que se recomienda realizar un estudio de la resistencia a la deformación permanente , para diferentes porcentajes de adición de cemento asfáltico y asimismo, para diferentes porcentajes de adición de Botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y Granos de neumáticos reciclados (GNR), con la finalidad de analizar esta propiedad bajo diferentes porcentajes de adición.

Recomendación N°11:

Se recomienda al Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto de la Universidad Andina del Cusco implementar con equipos especializados para ensayos de asfalto y con ello obtener mejores análisis de la resistencia a la deformación permanente, tal como:

- Compactador Giratorio SUPERPAVE, para obtener muestras asfálticas compactadas de manera similar a la que se obtendría bajo condiciones de tráfico y condiciones de clima específicos.

Recomendación N°12:

Se recomienda a los Municipios, Gobierno Regional y entidades ejecutoras de obras de pavimentación, emplear tecnologías nuevas y amigables con el medio ambiente, como lo es la presente investigación en la cual se adiciona materiales obtenidos de reciclaje (Botellas de plástico trituradas recicladas-BPTR y Granos de neumáticos reciclados-GNR), obteniendo valores de comportamiento mecánico favorables y, asimismo, contribuye a la reducción de la contaminación ambiental.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Referencias

Asociacion de productores y pavimentadores asfalticos de Colombia. (2004). *Cartilla del pavimento asfaltico.* Bogota: Panamericana.

Asphalt Institute. (1992). *Principios de Construccion de Pavimentos de Mezcla Asfaltica en Caliente.* Lexington: Asphalt Institute.

Avellán Cruz, M. D. (2007). *Asfaltos Modificados con Polímeros.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Blog tecnologia de los plásticos. (16 de Julio de 2012). *Definición de polietileno*. Obtenido de http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/2012/07/polietileno-pe.html

Bolaños Zea, J. G. (2019). *Reciclado de Plástico PET.* Arequipa: Universidad Católica de San Pablo.

Botía Diaz, W. A. (2015). *Manual de Procedimientos de ensayos de Suelos y Memorias de Cálculo" (Tesis)* . Bogota: Universidad Militar Nueva Granada.

Cano Serrano, E., Cerezo , G. L., & Urbina Fraile, M. (2010). *Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso* . Madrid: CEIM.

Casiopea. (26 de Setiembre de 2010). Obtenido de https://wiki.ead.pucv.cl/Obtenci%C3%B3n_del_Caucho

Centro de Investigación Vial UTN. (2015). *VALORACION DEL DESEMPEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA MODIFICANDO EL TIPO DE FILLER Y ASFALTO.* La plata: Universidad Tecnologica Nacional .

Corbacho Chipana, J. (2018). *Analisis de la Estabilidad Marshall y la deformacion permanente mediante el esayo de rueda de hamburgo de una mezcla asfaltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del cusco-2018 (Tesis de Pregrado).* Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

De la Cruz Bazan , P., & Porras Zavala, M. (2015). *EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DISEÑADAS POR LA METODOLOGÍA MARSHALL CON EL ENSAYO DE LA RUEDA CARGADA DE HAMBURGO PARA EL PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA DV IMPERIAL-PAMPAS.* Lima: Universidad Ricardo Palma.

Delbono, H. L., & Rebollo, O. R. (2017). *Ahuellamiento en Pavimentos Asfálticos utilizando Geosintéticos.* La Plata: Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional.

Delgado Alamilla, H., Garnica Anguas, P., Villatoro Mendez, G., & Rodriguez Oropeza, G. (2006). *Influencia de la Granulometría en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica.* Ciudad de Mexico: IMT.

Díaz Claros, C. M., & Castro Celis, L. C. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) PROVENIENTE DE LLANTAS USADAS PARA*

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

MEJORAR LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y GARANTIZAR PAVIMENTOS SOSTENIBLES EN BOGOTÁ. Bogota: Universidad Santo Tomás.

Direccion de Proyectos de Inversion Publica. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversion publica de carreteras.* Lima: Servicios Graficos JMD.

ELAPLAS. (25 de 09 de 2019). *www.elaplas.es*. Obtenido de http://www.elaplas.es/materiales/cauchos-y-elastomeros/

Escalante Zegarra, J. R. (2007). *Evaluacion de mezclas producidas con ligantes asfalticos peruanos convencional PEN60/70 y modificados por polimeros SBS tipo I 60/60 E PG 76-22.* Sao Paulo: Universidad de Sao Paulo.

Estrada Escalante, R. (2017). *Estudio de desempeno de mezcla asfaltics convencional PEN 85/100 plus y mezcla asfaltica modificada con polimero tipo SBS PG 70-28.* Cusco: UAC.

Estrada Escalante, V. (2017). *Estudio y Análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 PLUS y mezcla asfáltica modificada con polimero tipos SBS PG 70-28.* Cusco: Universidad Andina del Cusco.

Forigua Orjuela, J. E. (2014). *DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE DESPERDICIOS PLÁSTICOS(Tesis).* Bógota: Universidad Católica de Colombia .

Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., & Sandoval Sandoval , C. (2005). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.* Queretaro: Instituto Mexicano del Transporte.

Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., Gomez Lopez , J., Alonso Romero , S., & Alarcón Orta, H. (2004). *ASPECTOS DEL DISEÑO VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.* Querétaro: INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.

Hermida, E. (2011). *Polimeros* . Buenos Aires: Ministerio de Educacion.

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodologia de la investigacion.* Mexico DF: Mc Graw Hill Education.

Heshmat, A. (1997). *Polymer Modifiers for Improved Performance of Asphalt Mixture.* New York: Marcel Dekker.

Huang, Y. (2004). *Pavement Analysis and Design.* New Jersey : Prentice Hall.

Instituto Venezolano de Asfalto. (1992). *Principios de Construccion de Pavimentos de Mezcla Asfaltica en Caliente.* Lexington: Asphalt Institute.

Juarez Varon , D., Balart Gimeno , R., Ferrándiz Bou , S., & Garcia Sanoguera , D. (2012). Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. *3Ciencias*, 3.

Laboratorio Nacional de Materiales. (25 de 09 de 2019). *Lananme*. Obtenido de http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/campanas/pavimentos-verdes/ficha-4.pdf

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Leiva, F. (2017). *Modelo de deformación permanente para la evaluación de la condición del pavimento.* Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Lopez, T., & Miró, R. (2017). *El daño por humedad en las mezclas asfálticas.* Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya .

Minaya González , S., & Ordóñez Huamán, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos.* Lima: Insituto de la Construccion y Gerencia.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.* Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales.* Lima.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *Norma Técnica de Edificación CE.010 Pavimentos Urbanos.* Lima.

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingenieria de pavimentos para carreteras.* Bogota , D.C.: Agora Editores.

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingenieria de Pavimentos para Carreteras.* Bogota: Stella Valbuena de Fierro.

Morea, F. (2011). *Deformaciones permanentes en mezclas asfalticas.* Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

MTC. (2013). *Manual de Carreteras : Especificaciones Técnicas Generales para Construcción.* Lima.

MTC.Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción. (2019). *Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura vial.* Lima .

Muñoz Perez , L. (Noviembre de 2012). ESTUDIO DEL USO DEL POLIETILENO TEREFTALATO (PET) COMO MATERIAL DE RESTITUCION EN SUELOS DE BAJA CAPACIDAD DE CARGA. *Tesis*. Mexico D.F. , Mexico : Universidad Nacional Autónoma de Mexico .

Padilla Rodriguez , A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.* Cataluña: Universidad Politecnica de Catalunya.

Padilla Rodriguez, A. (2004). *Analisis de la resistencia a las deformaciones plasticas de mezclas bituminsas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.* Catalunya: Universidad Politecntica de Catalunya.

Paladines Pardo, J. (2015). *Productos Bituminosos Empleados en los pavimentos.Consistencia del Cemento Asfático y su Gravedad Específica.* Machala: Universidad Ténica de Machala.

Palma, C., Ortiz Cisneros , J. C., Avalos Belmonte , F., & Castañeda Facio, A. (2015). Modificacion de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos . 121.

Perez Porto , J., & Gardney , A. (2013). *Definicion.De.* Obtenido de Definicion.De: https://definicion.de/reciclaje/

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Universidad Andina del Cusco
Repositorio Digital

Perez Porto, J., & Merino, M. (2019). *Definicion de elastómero*. Obtenido de https://definicion.de/elastomero/

RECYTRANS Soluciones Globales para el reciclaje. (2013). Obtenido de https://www.recytrans.com/blog/trituracion-de-plastico/

Salazar Delgado, J. (2011). Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el RTC. San Jose.

Sanchez , M., & Arango, A. (1999). *Susceptibilidad a la humedad de mezclas asfálticas. "un caso particular".* Medellin: EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.

TDM GRUPO . (25 de 10 de 2016). *Pavimentación con mezclas asfálticas modificadas con polímeros*. Obtenido de http://www.grupotdm.com/soluciones-pavimentacion-mezclas-asfalticas-modificadas.php

Torres Velazquez, R., Hernandez Villares , H., Romero Zepeda , F., & Torres Verdin , V. (2016). PRUEBA DE DESEMPEÑO EN DIFERENTES MEZCLAS ASFÁLTICAS. *Entretextos*, 101.

Ucha, F. (Noviembre de 2013). *DefiniciónABC.* Obtenido de https://www.definicionabc.com/general/neumaticos.php

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN. (2004). *Pavimentos.* Cochabamba: Universidad de San Simón.

Univesidad Centroamericana. (2009). *Densidad, Densidad Relativa(Gravedad Específica) y absorción del agregado fino.* San Salvador .

Vidal, A., Grajales, J., & Ramirez Lopez, D. (2014). *Incorporación de Tereftalato de polietileno como agente modificador en el asfalto (Tesis de Pregrado).* Santiago de Cali : Pontificie Universidad Javeriana Cali .

Wulf Rodriguez, F. A. (2008). *ANÁLISIS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO.* Valdivia: Universidad Austral de Chile.

Yepes Piqueras, V. (2014). Elaboración de Mezclas Asfálticas. *Universidad Politecnica de Valencia*, 1.

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS