



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y
PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE,
RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON
VIDRIO RECICLADO Cusco 2018"**

Presentado por:

Bach. Román Ojeda César Aarón

Bach. Valenzuela Muñoz Nicole Melanny

Para optar al Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor: Dr. Chacón Sánchez Víctor

CUSCO – PERÚ

2019



Dedicatoria

A mi hermana por su amor y apoyo incondicional.

Cesar Aaron Roman Ojeda

A todas las personas que tuvieron más fe en mí, que yo misma.

Nicole Melanny Valenzuela Muñoz

Agradecimiento

A mis padres, y amigos por brindarme su apoyo en todo momento.

Cesar Aaron Roman Ojeda

A mis padres y a todas aquellas personas que me apoyaron.

Nicole Melanny Valenzuela Muñoz



Resumen

La presente tesis tiene por finalidad, realizar un análisis comparativo de la estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos de aire (propiedades físico – mecánicas) de una mezcla asfáltica en caliente tradicional – patrón, fabricada con asfalto pen 85 – 100, respecto a una mezcla asfáltica en caliente modificada con vidrio reciclado, a través de la sustitución, del agregado fino, en función del peso en porcentajes y así obtener el porcentaje de sustitución que brinda mejores resultados a las propiedades físico mecánicas. Para la elaboración de dichas mezclas asfálticas se utilizó el mismo diseño de mezcla, los mismos agregados, provenientes de la cantera de Morro Blanco – Pisac y el mismo tipo de asfalto proveniente del Gobierno Regional Cusco. Este análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas se realizó mediante el método del Instituto de Asfalto para obtener el contenido óptimo de asfalto, el cual fue 5.6%, realizando el ensayo Marshall mediante la evaluación de especímenes, posteriormente se obtuvo el contenido óptimo de vidrio, utilizando especímenes con 5%, 8%, 10%, 12% y 15% de vidrio sustituido. Obteniendo un porcentaje óptimo de sustitución en peso de agregado por vidrio reciclado de 15%, al comparar las mezclas asfálticas óptimas; se llegó a la siguiente conclusión: la mezcla asfáltica en caliente modificada con el porcentaje de sustitución óptimo, brinda mejores beneficios en cuanto a propiedades físico – mecánicas que la mezcla asfáltica en caliente tradicional.

Palabras clave

Estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos, densidad, gravedad específica, diseño de mezcla, compactación, vidrio triturado, filler, agregado grueso, agregado fino, piedra triturada, tamiz, mezcla asfáltica, granulometría, gradación, asfalto, cemento asfáltico, tradicional, ensayo Marshall, cantera, propiedades físico – mecánicas, método del Instituto de Asfalto.



Abstract

The following thesis project has as purpose to achieve a comparative analysis of the stability, flow and percentage of air vacuums (physical and mechanical properties) from a traditional hot-mix asphalt - standard, manufactured with asphalt PEN 85/100. According to a hot-mix asphalt modified with recycled glass, through the substitution of a fine aggregate, based on the weight on percentages, and thus, obtaining the percentage of substitution that gives better results to the physical and mechanical properties. For the manufacturing of such asphalt mixtures, the same mix design was used; identical aggregates, coming from the quarry of “Morro Blanco” – Pisac and the same type of asphalt coming from the Cusco Regional Government. This comparative analysis of the physical and mechanical properties was made using “The Asphalt Institute Method” to obtain the optimum content of asphalt, which was 5.6%, applying the “Marshall Method” by means of the specimen’s evaluation, afterwards the optimum glass content was obtained, using specimens with 5%, 8%, 10%, 12% and 15% of substituted glass. Obtaining an optimal percentage of substitution in aggregate weight by recycled glass of 15%. When comparing the optimal asphalt mixtures; the following conclusion was reached: The modified hot-mix asphalt with the optimum substitution percentage provides better physical and mechanical properties than traditional hot-mix asphalt.

Keywords

Stability, flow, percentage of vacuums, density, specific gravity, mix design, compaction, grinded glass, filler, coarse aggregate, fine aggregate, crushed stone, sieve, asphalt mix, granulometry, gradation, asphalt, asphalt cement, traditional, Marshall Method, quarry, physical-mechanical properties, the Asphalt Institute Method.



Introducción

En la ciudad del Cusco existe una problemática en los pavimentos flexibles, ya que en éstos se suelen observar deformaciones, agrietamientos y daños considerables, que pueden ocasionar: desperfectos mecánicos en los vehículos, accidente en vehículos y en peatones; esta falta de funcionalidad se puede evitar con el uso de nuevas tecnologías para mejorar la vida útil de las mezclas asfálticas en caliente, reutilizando la materia para mejorar las tecnologías tradicionales; en el caso de la presente investigación, se dará uso al vidrio en el campo de la ingeniería, para poder brindar un nuevo uso del vidrio reciclado con fines constructivos en nuestra sociedad.

Como primera parte de la investigación se identificó el problema, seguidamente se establecieron los objetivos e hipótesis; luego se realizó los trabajos de laboratorio para poder obtener los datos de la investigación, procesarlos y así llegar a las conclusiones respectivas.



Índice general

Dedicatoria	i
Agradecimiento	i
Resumen	ii
Palabras clave	ii
Abstract	iii
Introducción	iv
Índice general	v
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	xiv
Capítulo I: Planteamiento del problema	1
1.1. Identificación del problema	1
1.1.1. Descripción del problema	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema.....	4
1.2. Justificación e importancia de la investigación	5
1.2.1. Justificación técnica	5
1.2.2. Justificación social	5
1.2.3. Justificación por viabilidad	5
1.2.4. Justificación por relevancia.....	6
1.3. Objetivo de la investigación	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos	7
1.4. Hipótesis	8
1.4.1. Hipótesis general.....	8
1.4.2. Sub - hipótesis.....	8
1.5. Variables.....	8



1.5.1.	Variable independiente	8
1.5.2.	Variable dependiente	9
1.5.3.	Cuadro de operacionalización de variables.....	10
Capítulo II: Marco teórico.....		11
2.1.	Antecedentes de la tesis o investigación actual	11
2.1.1.	Antecedentes a nivel nacional.....	11
2.1.2.	Antecedentes a nivel internacional	13
2.2.	Aspectos teóricos pertinentes	19
2.2.1.	Pavimento	19
2.2.2.	Estructura de un pavimento	19
2.2.3.	Tipos de pavimento.....	21
2.2.4.	Función de la carpeta de rodadura	21
2.2.5.	Mezcla asfáltica	22
2.2.6.	Componentes de una mezcla en caliente	22
2.2.7.	Normativa para la calidad de los materiales usados en mezclas asfálticas en caliente y para mezclas asfálticas	27
2.2.8.	Ensayos de Calidad para los Agregados	33
2.2.9.	Diseño de mezclas asfálticas en caliente	45
2.2.10.	Propiedades físico – mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente	47
2.2.11.	Vidrio	54
Capítulo III: Metodología.....		56
3.1.	Metodología de la Investigación.....	56
3.1.1.	Tipo de investigación	56
3.1.2.	Nivel de la investigación.....	56
3.1.3.	Método de investigación	57
3.2.	Diseño de la Investigación.....	57
3.2.1.	Diseño metodológico	57



3.2.2.	Diseño de Ingeniería	58
3.2.3.	Población.....	59
3.2.4.	Muestra	60
3.2.5.	Criterios de inclusión	62
3.3.	Instrumentos	63
3.3.1.	Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.....	63
3.3.2.	Instrumentos de Ingeniería.....	85
3.4.	Procedimientos de Recolección de Datos.....	86
3.4.1.	Ensayo a los materiales conformantes de la mezcla asfáltica.....	86
3.4.2.	Ensayos a la mezcla asfáltica	147
3.5.	Procedimientos de Análisis de datos	182
3.5.1.	Análisis de los componentes de la mezcla asfáltica.....	182
Capítulo IV: Resultados		233
4.1.	Resultado de los componentes de la mezcla asfáltica	233
4.1.1.	Resultado del comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas en relación al porcentaje óptimo de vidrio en la mezcla asfáltica tradicional.	233
Capítulo V: Discusión		236
Glosario		241
Conclusiones		243
Recomendaciones.....		244
Referencias		245
Anexos.....		247



Índice de tablas

Tabla 1: Cuadro de operacionalización de variables.....	10
Tabla 2: Temperatura Media Anual – Cemento Asfáltico	27
Tabla 3: Requerimientos para los agregados gruesos para mezclas asfálticas en caliente - manual de carreteras EG - 2013	28
Tabla 4: Requerimientos para los agregados finos para mezclas asfálticas en caliente-manual de carreteras EG - 2013	29
Tabla 5: Gradación de los agregados para mezclas asfálticas en caliente - manual de carreteras EG -2013	30
Tabla 6: Requisito para mezcla de concreto bituminoso - manual de carreteras EG - 2013....	30
Tabla 7: Vacíos mínimos en el agregado mineral - manual de carreteras EG – 2013	31
Tabla 8: Requerimientos para los agregados gruesos de mezclas asfálticas en caliente.....	31
Tabla 9: Requerimientos caras fracturadas	32
Tabla 10: Requerimientos para los agregados finos de mezclas asfálticas en caliente.....	32
Tabla 11: Requerimientos del equivalente de arena.....	32
Tabla 12: Angularidad del agregado fino.....	33
Tabla 13: Gradación de los agregados para mezclas asfálticas en caliente	33
Tabla 14: Grados de asfalto recomendados para diferentes condiciones de temperatura	33
Tabla 15: Cuantificación de la población.....	60
Tabla 16: Cuantificación de la muestra.....	61
Tabla 17: Instrumento metodológico para granulometría del agregado grueso.....	63
Tabla 18: Instrumento metodológico para granulometría del agregado fino	64
Tabla 19: Instrumento metodológico para ensayo de abrasión del agregado grueso.....	65
Tabla 20: Instrumento metodológico para peso específico y absorción del agregado grueso .	66
Tabla 21. Instrumento metodológico para peso específico y absorción del agregado fino	67
Tabla 22: Instrumento metodológico para el ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento del agregado grueso.....	68
Tabla 23: Instrumento metodológico para ensayo de porcentaje de partículas fracturadas.....	69
Tabla 24: Instrumento metodológico para la determinación de la durabilidad del agregado grueso al sulfato de magnesio	70
Tabla 25: Instrumento metodológico para la determinación de la durabilidad del agregado fino al sulfato de magnesio	71



Tabla 26: Instrumento metodológico para la determinación del valor del equivalente de arena del agregado fino.....	72
Tabla 27: Instrumento metodológico para la determinación del límite líquido del agregado fino – pasa malla N°40 y pasa malla N°200	73
Tabla 28: Instrumento metodológico para la determinación del límite plástico del agregado fino – pasa malla N°40 y pasa malla N°200	74
Tabla 29: Instrumento metodológico para la granulometría del vidrio reciclado	75
Tabla 30: Instrumento metodológico para determinar la granulometría de diseño producto de la combinación de los agregados.....	76
Tabla 31: Instrumento metodológico para obtener la dosificación del cemento asfáltico y de los agregados minerales	77
Tabla 32: Instrumento metodológico para determinar la gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada	78
Tabla 33: Instrumento metodológico para determinar la gravedad específica bulk y aparente de la combinación de agregados	79
Tabla 34: Instrumento metodológico para determinar la gravedad específica teórica máxima de la mezcla – Gmm – RICE	79
Tabla 35: Instrumento metodológico para determinar el factor de corrección de estabilidad .	80
Tabla 36: Instrumento metodológico para determinar los resultados del ensayo Marshall ASTM – 1559.....	81
Tabla 37: Instrumento metodológico para determinar la gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica con vidrio compactada	82
Tabla 38: Instrumento metodológico para determinar el factor de corrección de estabilidad de los especímenes con vidrio.....	83
Tabla 39: Instrumento metodológico para determinar los resultados del ensayo Marshall ASTM – 1559 de los especímenes con vidrio	84
Tabla 40: Cantidad mínima de muestra de agregado grueso	90
Tabla 41: Toma de datos análisis granulométrico del agregado grueso	92
Tabla 42: Peso mínimo de la muestra para el ensayo	93
Tabla 43: Toma de datos ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.....	97
Tabla 44: Gradación de las muestras de ensayo.....	98
Tabla 45: Número de esferas según el método a usarse.....	98
Tabla 46: Toma de datos ensayo de abrasión del agregado grueso	100
Tabla 47: Toma de datos ensayo de abrasión del agregado grueso	101



Tabla 48: Toma de datos ensayo de porcentaje de partículas fracturadas	103
Tabla 49: Toma de datos ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento del agregado grueso	108
Tabla 50: Peso mínimo de la muestra del agregado grueso para el ensayo	109
Tabla 51: Toma de datos durabilidad del agregado grueso al sulfato de magnesio.....	113
Tabla 52: Toma de datos análisis granulométrico del agregado fino – arena triturada	117
Tabla 53: Toma de datos análisis granulométrico del agregado fino – arena natural.....	118
Tabla 54: Toma de datos ensayo de peso específico y absorción del agregado fino – arena natural.....	122
Tabla 55: Toma de datos ensayo de peso específico y absorción del agregado fino – arena triturada	123
Tabla 56: Toma de datos ensayo de determinación del límite líquido de los suelos – arena triturada – pasa malla N ^a 40	128
Tabla 57: Toma de datos ensayo de determinación del límite líquido de los suelos – arena triturada – pasa malla N ^a 200	129
Tabla 58: Toma de datos ensayo de determinación del límite líquido de los suelos – arena natural – pasa malla N ^a 40.....	130
Tabla 59: Toma de datos ensayo de determinación del límite líquido de los suelos – arena natural – pasa malla N ^a 200.....	131
Tabla 60: Toma de datos ensayo de determinación del límite plástico de los suelos – arena triturada – pasa malla N ^a 40	135
Tabla 61: Toma de datos ensayo de determinación del límite plástico de los suelos – arena triturada – pasa malla N ^a 200	135
Tabla 62: Toma de datos ensayo de determinación del límite plástico de los suelos – arena natural – pasa malla N ^a 40.....	136
Tabla 63: Toma de datos ensayo de determinación del límite plástico de los suelos – arena natural – pasa malla N ^a 200.....	136
Tabla 64: Serie de tamices a utilizar para el agregado fino	137
Tabla 65: Toma de datos: durabilidad del agregado fino-arena tritura al sulfato de magnesio	141
Tabla 66: Toma de datos: durabilidad del agregado fino-arena natural al sulfato de magnesio	142
Tabla 67: Toma de datos equivalente de arena- arena triturada y natural.....	147



Tabla 68: Toma de datos de Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compacta – Obtención de Patrón	157
Tabla 69: Toma de datos para el factor de estabilidad	158
Tabla 70: Toma de datos de ensayo Marshall con 4.5% de asfalto	159
Tabla 71: Toma de datos de ensayo Marshall con 5% de asfalto	160
Tabla 72: Toma de datos de ensayo Marshall con 5.5% de asfalto	161
Tabla 73: Toma de datos de ensayo Marshall con 6% de asfalto	162
Tabla 74: Toma de datos de ensayo Marshall con 6.5% de asfalto	163
Tabla 75: Toma de datos de ensayo Marshall con 7% de asfalto	164
Tabla 76: Toma de datos para el factor de estabilidad para los porcentajes de vidrio establecidos	175
Tabla 77: Toma de datos de Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compacta con vidrio en porcentajes de 5%, 8%, 10%, 12% y 15%	176
Tabla 78: Toma de datos de ensayo Marshall con 5% de vidrio.....	177
Tabla 79: Toma de datos de ensayo Marshall con 8% de vidrio.....	178
Tabla 80: Toma de datos de ensayo Marshall con 10% de vidrio.....	179
Tabla 81: Toma de datos de ensayo Marshall con 12% de vidrio.....	180
Tabla 82: Toma de datos de ensayo Marshall con 15% de vidrio.....	181
Tabla 83: Ensayo granulométrico del agregado grueso	182
Tabla 84: Ensayo granulométrico del agregado fino – arena triturada	183
Tabla 85: Ensayo granulométrico del agregado fino – arena natural.....	184
Tabla 86: Ensayo de abrasión del agregado grueso	185
Tabla 87: Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.....	186
Tabla 88: Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino – arena natural	187
Tabla 89: Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino – arena triturada.....	188
Tabla 90: Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento del agregado grueso	189
Tabla 91: Ensayo de porcentaje de caras fracturadas.....	190
Tabla 92: Ensayo de determinación del límite líquido de los suelos – arena triturada pasa malla N°40.....	191
Tabla 93: Ensayo de determinación del límite plástico de los suelos – arena triturada pasa malla N°40.....	192
Tabla 94: Índice de plasticidad de los suelos – arena triturada pasa malla N°40.....	192
Tabla 95: Ensayo de determinación del límite líquido de los suelos – arena triturada, pasa malla N°200.....	193



Tabla 96: Ensayo de determinación del límite plástico de los suelos – arena triturada pasa malla N°200.....	193
Tabla 97: Ensayo de determinación del índice de plasticidad de los suelos – arena triturada pasa malla N°200.....	194
Tabla 98: Ensayo de determinación del límite líquido de los suelos – arena natural pasa malla N°40.....	194
Tabla 99: Ensayo de determinación del límite plástico de los suelos arena natural pasa malla N°40.....	195
Tabla 100: Índice de plasticidad – arena natural, pasa malla N°40.....	195
Tabla 101: Ensayo de determinación del límite líquido de los suelos – arena natural, pasa malla N°200.....	196
Tabla 102: Ensayo de determinación del límite plástico de los suelos – arena natural, pasa malla N°200.....	196
Tabla 103: Ensayo de determinación del índice de plasticidad de los suelos – arena natural, pasa malla N°200.....	197
Tabla 104: Análisis de la combinación de agregados	198
Tabla 105: Análisis del diseño de mezcla asfáltica.....	199
Tabla 106: Análisis de la gravedad específica Bulk y Aparente de la combinación de agregados	200
Tabla 107: Gravedad específica teórica máxima de la mezcla, Gmm – RICE para cada porcentaje de asfalto.....	201
Tabla 108: Gravedad específica Bulk y Aparente de la combinación de agregados	202
Tabla 109: Ensayo Marshall para un espécimen con 4.5% de asfalto	203
Tabla 110: Ensayo Marshall para un espécimen con 5% de asfalto	204
Tabla 111: Ensayo Marshall para un espécimen con 5.5% de asfalto	205
Tabla 112: Ensayo Marshall para un espécimen con 6% de asfalto	206
Tabla 113: Ensayo Marshall para un espécimen con 6.5% de asfalto	207
Tabla 114: Ensayo Marshall para un espécimen con 7% de asfalto	208
Tabla 115: Análisis de la estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y densidad de los diferentes contenidos de asfalto	209
Tabla 116: Tabla para hallar el óptimo contenido de asfalto por el método del Instituto de Asfalto.....	213
Tabla 117: Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas compactadas, con vidrio en porcentajes de 5%, 8%, 10%, 12% y 15%.	214



Tabla 118: Diseño de mezcla asfáltica con reemplazo de vidrio en 5%	215
Tabla 119: Diseño de mezcla asfáltica con reemplazo de vidrio en 8%	216
Tabla 120: Diseño de mezcla asfáltica con reemplazo de vidrio en 10%	217
Tabla 121: Diseño de mezcla asfáltica con reemplazo de vidrio en 12%	218
Tabla 122: Diseño de mezcla asfáltica con reemplazo de vidrio en 15%	219
Tabla 123: Ensayo Marshall para un espécimen con 5% de vidrio.	221
Tabla 124: Ensayo Marshall para un espécimen con 8% de vidrio	222
Tabla 125: Ensayo Marshall para un espécimen con 10% de vidrio	223
Tabla 126: Ensayo Marshall para un espécimen con 12% de vidrio	224
Tabla 127: Ensayo Marshall para un espécimen con 15% de vidrio	225
Tabla 128: Análisis de las propiedades volumétricas y mecánicas para el óptimo contenido de asfalto	229
Tabla 129: Análisis de las propiedades volumétricas y mecánicas para un 5% de vidrio	229
Tabla 130: Análisis de las propiedades volumétricas y mecánicas para un 8% de vidrio	229
Tabla 131: Análisis de las propiedades volumétricas y mecánicas para un 10% de vidrio ...	230
Tabla 132: Análisis de las propiedades volumétricas y mecánicas para un 12% de vidrio ...	230
Tabla 133: Análisis de las propiedades volumétricas y mecánicas para un 15% de vidrio ...	230
Tabla 134: Análisis de costo por m ³ de una mezcla asfáltica tradicional.....	232
Tabla 135: Análisis de costo por m ³ de una mezcla asfáltica tradicional.....	232
Tabla 136: Comparación de la Mezcla Asfáltica en Caliente Patrón respecto a una Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada con vidrio reciclado	233
Tabla 137: Combinación de agregados	237



Índice de figuras

<i>Figura 1: Baches en el Ovalo Libertadores.....</i>	<i>1</i>
<i>Figura 2: Piel de cocodrilo (fatiga) en la Prolongación Av. De la Cultura (frente a la Universidad Andina del Cusco)</i>	<i>2</i>
<i>Figura 3: Baches (frente a la entrada de la Universidad Andina del Cusco)</i>	<i>2</i>
<i>Figura 4: Deformación por deficiencia estructural / ahuellamiento en la Av. De la Cultura (paradero Santa Rosa)</i>	<i>2</i>
<i>Figura 5: Fisuras longitudinales en la av. De la Cultura (frente al grifo San Martin)</i>	<i>3</i>
<i>Figura 6: Fisuras longitudinales en la Vía Expresa (Parque Puccllaycancha).....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 7: Fisuras longitudinales Av. De la Cultura en la (frente al Real Plaza)</i>	<i>3</i>
<i>Figura 8: Baches Av. Infancia en la primera cuadra (frente a SUBCAFAE)</i>	<i>3</i>
<i>Figura 9: Capas que conforman un pavimento flexible.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10: Máquina de los ángeles</i>	<i>35</i>
<i>Figura 11: Calibrador de espesores</i>	<i>37</i>
<i>Figura 12: Calibrador de longitudes</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13: Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14: Partículas fracturadas (bordes agudos, superficies alisadas)</i>	<i>39</i>
<i>Figura 15: Partículas fracturadas (bordes redondeados, superficie rugosa).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 16: Partículas fracturadas (centro) flanqueadas por dos partículas no fracturadas (solo astillada).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 17: Partículas no fracturadas (bordes redondeados, superficies alisadas).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 18: Partículas no fracturadas (partículas redondeadas, superficies alisadas).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19: Ilustración de gravedades específicas bulk, efectiva y aparente; vacíos de aire; y contenido de asfalto efectivo en mezclas compactadas</i>	<i>47</i>
<i>Figura 20: Representación de volúmenes en especímenes de mezclas compactadas.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 21: Esquema de relaciones entre las diferentes gravedades específicas de una partícula de agregado.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 22: Esquema del agregado para gravedad específica seca aparente.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 23: Esquema del agregado para gravedad específica seca bulk.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 24: Esquema del agregado para gravedad específica saturada superficialmente seca bulk.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 25: Máquina de estabilidad Marshall con anillo de carga.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 26: Extracción de material de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco</i>	<i>86</i>
<i>Figura 27: Extender el agregado en una superficie limpia</i>	<i>86</i>



<i>Figura 28: Mezclado del agregado grueso.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 29: Extendido del material con la cuchara de la pala.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 30: Cuarteo</i>	<i>88</i>
<i>Figura 31: Cuarteo del agregado grueso</i>	<i>88</i>
<i>Figura 32: Uso de la brocha para separar finos</i>	<i>88</i>
<i>Figura 33: Primer cuarteo.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 34: Segundo cuarteo</i>	<i>89</i>
<i>Figura 35: Separación de los dos cuartos homogéneos con los dos restantes.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 36: Peso inicial de la muestra.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 37: Granulometría del agregado grueso</i>	<i>91</i>
<i>Figura 38: Agregados sumergidos en agua por 24 horas</i>	<i>93</i>
<i>Figura 39: Material sumergido por 24 horas</i>	<i>94</i>
<i>Figura 40: Agregado secado por una franela</i>	<i>94</i>
<i>Figura 41: Peso superficialmente seco.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 42: Agregado grueso en la canastilla</i>	<i>95</i>
<i>Figura 43: Canastilla metálica con agregado grueso</i>	<i>95</i>
<i>Figura 44: Agregado sumergido para el peso sumergido</i>	<i>95</i>
<i>Figura 45: Peso sumergido de los agregados</i>	<i>96</i>
<i>Figura 46: Agregado en el horno</i>	<i>96</i>
<i>Figura 47: Peso seco del agregado</i>	<i>96</i>
<i>Figura 48: Colocación del agregado y las billas en la máquina de los Ángeles</i>	<i>99</i>
<i>Figura 49: Lavado del agregado por el Tamiz N°10.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 50: Muestra lavada en el horno</i>	<i>99</i>
<i>Figura 51: Inspección de caras fracturadas.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 52: Clasificación de las partículas</i>	<i>102</i>
<i>Figura 53: Partícula fracturada</i>	<i>102</i>
<i>Figura 54: Tamizado de la muestra.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 55: Partícula sometida al calibrador de espesores</i>	<i>105</i>
<i>Figura 56: Partícula no chata</i>	<i>105</i>
<i>Figura 57: Partícula chata</i>	<i>105</i>
<i>Figura 58: Clasificación de las partículas de cada tamiz</i>	<i>106</i>
<i>Figura 59: Partícula sometida al calibrador de longitudes</i>	<i>106</i>
<i>Figura 60: Partícula alargada.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 61: Particular no alargada.....</i>	<i>107</i>



<i>Figura 62: Clasificación de las partículas: alargadas y no alargadas.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 63: Clasificación de las partículas de cada tamiz.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 64: Muestras tamizadas para el ensayo.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 65: Preparación de la solución.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 66: Peso de MgSO₄ para agregar a la solución.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 67: Colocación de la solución en las muestras tamizadas.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 68: Lavado de la muestra.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 69: Tamizado y peso final.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 70: Muestras luego de los 5 ciclos.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 71: Mezcla de agregado hasta formar una pila con forma cono.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 72: Cuarteo.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 73: Partición en 4 partes iguales de la muestra.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 74: Dos cuartos diagonales homogéneos.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 75: Cuarteo del agregado fino.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 76: Granulometría del agregado fino.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 77: Material sumergido en agua durante 24 horas.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 78: Material en la hornilla para ser secado.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 79: Prueba con el molde metálico para saber si la arena esta superficialmente seca.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 80: Arena superficialmente seca.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 81: Muestra para el ensayo.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 82: Muestra en el horno.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 83: Vaciado de la muestra a la fiola.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 84: Fiola con material con agua.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 85: Extracción de vacíos con la bomba de vacíos.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 86: Peso de la fiola con el material y agua sin vacíos.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 87: Ensayo de límite líquido.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 88: Material pasante el tamiz N°40 y N°200.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 89: Preparación de la mezcla en la vasija de porcelana.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 90: Colocación de la muestra en el aparato de casa grande.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 91: Muestra en el aparato de Casagrande.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 92: Forma de la muestra antes y después del ensayo.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 93: Muestra antes del ensayo.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 94: Muestra después del ensayo.....</i>	<i>126</i>



<i>Figura 95: Ensayo del material pasante el tamiz n° 200.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 96: Peso antes de llevar la muestra al horno</i>	<i>127</i>
<i>Figura 97: Muestras llevadas al horno.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 98: Peso seco después del horno</i>	<i>128</i>
<i>Figura 99: Material en forma de esfera.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 100: Realización de los cilindros en la superficie de vidrio.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 101: Muestras de la arena natural pasante el tamiz N°40</i>	<i>133</i>
<i>Figura 102: Ensayo al material pasnte el tamiz N°200.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 103: Muestra de Limite Líquido.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 104: Peso de la muestra antes de ser llevada al horno</i>	<i>134</i>
<i>Figura 105: Peso después de estar en el horno</i>	<i>134</i>
<i>Figura 106: Muestras ya tamizadas.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 107: peso de (MgSO4 para preparar la solución).....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 108: Preparación de la solución.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 109: Solución preparada.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 110: Colocación de la solución en las muestras.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 111: Vaciado de la solución para lavar la muestra.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 112: Lavado del material por su respectivo tamiz.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 113: Tamizado y peso final</i>	<i>140</i>
<i>Figura 114: Cuarteo de material</i>	<i>143</i>
<i>Figura 115: Taras con 120 gr.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 116: Llenado de la solución.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 117: Probetas con 4 und de solución.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 118: Llenado de material a las probetas</i>	<i>144</i>
<i>Figura 119: Llenado de las probetas con la solución</i>	<i>145</i>
<i>Figura 120: Reposo de las muestras.....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 121: Realización de los 90 ciclos.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 122: Ensayo de equivalente de arena</i>	<i>146</i>
<i>Figura 123: Peso del material por tamiz.....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 124: Separación del material por tamiz.....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 125: Mezcla de arena triturada y natural.....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 126: Extracción de asfalto de la planta de asfalto del Gobierno Regional del Cusco</i>	<i>150</i>
<i>Figura 127: Peso del asfalto.....</i>	<i>150</i>



<i>Figura 128: Extracción del asfalto para ser calentado.....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 129: Vaciado de agregados en el asfalto.....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 130: Mezcla de agregados y asfalto.....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 131: Mezcla lista para compactar</i>	<i>152</i>
<i>Figura 132: Corte de los papeles con el tamaño de la base de los moldes</i>	<i>152</i>
<i>Figura 133: Vaciado de la mezcla en el molde.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 134: Chuseado de la mezcla asfáltica.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 135: Muestra extraída del molde</i>	<i>153</i>
<i>Figura 136: Especímenes de mezcla asfáltica</i>	<i>154</i>
<i>Figura 137: Medición de los diámetros y alturas de los especímenes</i>	<i>154</i>
<i>Figura 138: Espécimen sumergido en agua</i>	<i>154</i>
<i>Figura 139: Especímenes sumergidos en el baño maría</i>	<i>155</i>
<i>Figura 140: Baño María a 60°</i>	<i>155</i>
<i>Figura 141: Colocación del segmento superior en el espécimen</i>	<i>156</i>
<i>Figura 142: Máquina Marshall digital.....</i>	<i>156</i>
<i>Figura 143: Vidrio reciclado</i>	<i>165</i>
<i>Figura 144: Vidrio reciclado de las vidrierías</i>	<i>165</i>
<i>Figura 145: Trituración del vidrio reciclado</i>	<i>166</i>
<i>Figura 146: Vidrio reciclado triturado.....</i>	<i>166</i>
<i>Figura 147: Molienda de vidrio en la máquina de los ángeles</i>	<i>166</i>
<i>Figura 148: Tamizado del vidrio reciclado</i>	<i>167</i>
<i>Figura 149: Separación del vidrio reciclado triturado por tamices</i>	<i>167</i>
<i>Figura 150: Peso por tamiz de los agregados y el vidrio reciclado triturado</i>	<i>168</i>
<i>Figura 151: Agregado fino con sustitución de vidrio reciclado triturado</i>	<i>168</i>
<i>Figura 152: Mezclado de los agregados y vidrio con el asfalto.....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 153: Vaciado de la mezcla al molde</i>	<i>169</i>
<i>Figura 154: Compactación del espécimen.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 155: Extracción del espécimen</i>	<i>170</i>
<i>Figura 156: Medición de alturas y diámetros</i>	<i>171</i>
<i>Figura 157: Especímenes de asfalto</i>	<i>171</i>
<i>Figura 158: Espécimen sumergido en agua</i>	<i>171</i>
<i>Figura 159: Colocación de los especímenes en el baño maría</i>	<i>172</i>
<i>Figura 160: Especímenes sumergidos en el baño maría</i>	<i>172</i>
<i>Figura 161: Especímenes en el baño maría.....</i>	<i>172</i>



<i>Figura 162: Baño María a 60°</i>	<i>173</i>
<i>Figura 163: Colocación del segmento superior en el espécimen</i>	<i>173</i>
<i>Figura 164: Colocación del espécimen en la maquina Marshall.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 165: Colocación del dial de deformaciones.....</i>	<i>174</i>
<i>Figura 166: Realización del ensayo de Marshall</i>	<i>174</i>
<i>Figura 167: Laboratorio de materiales y asfalto del Gobierno regional de Cusco.....</i>	<i>174</i>
<i>Figura 168: Gráfico de la densidad vs el contenido de asfalto</i>	<i>209</i>
<i>Figura 169: Gráfico de VTM vs contenido de asfalto</i>	<i>210</i>
<i>Figura 170: Gráfico de VMA vs contenido de asfalto</i>	<i>210</i>
<i>Figura 171: VFA vs contenido de asfalto</i>	<i>211</i>
<i>Figura 172: Gráfico de estabilidad vs contenido de asfalto.....</i>	<i>211</i>
<i>Figura 173: Gráfico de flujo vs contenido de asfalto</i>	<i>212</i>
<i>Figura 174: Gráfico de estabilidad vs relación flujo-estabilidad</i>	<i>212</i>
<i>Figura 175: Estabilidad vs. porcentaje de vidrio</i>	<i>226</i>
<i>Figura 176: Flujo vs. porcentaje de vidrio</i>	<i>226</i>
<i>Figura 177: Vacíos de aire (VTM) vs. porcentaje de vidrio.....</i>	<i>227</i>
<i>Figura 178: Vacíos en el agregado mineral (VMA) vs. porcentaje de vidrio</i>	<i>227</i>
<i>Figura 179: Vacíos llenos de asfalto (VFA) vs. porcentaje de vidrio.....</i>	<i>228</i>
<i>Figura 180: Relación “Estabilidad / Flujo” vs. porcentaje de vidrio.....</i>	<i>228</i>
<i>Figura 181: Resultado de la Estabilidad de una MACP respecto a una MACM fabricada con 15% de vidrio en reemplazo del agregado fino.</i>	<i>233</i>
<i>Figura 182: Resultado del Flujo de una MACP respecto a una MACM fabricada con 15% de vidrio en reemplazo del agregado fino.</i>	<i>234</i>
<i>Figura 183: Resultado de los vacíos de aire (VTM) de una MACP respecto a una MACM fabricada con 15% de vidrio en reemplazo del agregado fino.</i>	<i>234</i>
<i>Figura 184: Resultado de los vacíos en el agregado mineral (VMA) de una MACP respecto a una MACM fabricada con 15% de vidrio en reemplazo del agregado fino.</i>	<i>235</i>
<i>Figura 185: Resultado de los vacíos llenos de asfalto (VFA) de una MACP respecto a una MACM fabricada con 15% de vidrio en reemplazo del agregado fino.</i>	<i>235</i>
<i>Figura 186: Extracción de agregados</i>	<i>248</i>
<i>Figura 187: Extracción de agregados</i>	<i>248</i>
<i>Figura 188: Extracción de asfalto</i>	<i>249</i>
<i>Figura 189: Extracción de vidrio reciclado</i>	<i>249</i>
<i>Figura 190: Cuarteo de agregados.....</i>	<i>250</i>



<i>Figura 191: Granulometría del agregado</i>	<i>250</i>
<i>Figura 192: Ensayo de caras fracturadas</i>	<i>251</i>
<i>Figura 193: Granulometría del agregado</i>	<i>251</i>
<i>Figura 194: Trituración de vidrio.....</i>	<i>252</i>
<i>Figura 195: Trituración de vidrio.....</i>	<i>252</i>
<i>Figura 196: Tamizado del vidrio</i>	<i>253</i>
<i>Figura 197: Elaboración de especímenes.....</i>	<i>253</i>
<i>Figura 198: Elaboración de especímenes.....</i>	<i>254</i>
<i>Figura 199: Compactación de especímenes</i>	<i>254</i>
<i>Figura 200: Toma de dimensiones de los especímenes</i>	<i>255</i>
<i>Figura 201: Extracción del espécimen</i>	<i>255</i>
<i>Figura 202: Ensayo equivalente de arena</i>	<i>256</i>
<i>Figura 203: Ensayo equivalente de arena</i>	<i>256</i>
<i>Figura 204: Ensayo de equivalente de arena</i>	<i>257</i>
<i>Figura 205: Baño María.....</i>	<i>257</i>
<i>Figura 206: Ensayo Marshall.....</i>	<i>258</i>
<i>Figura 207: Visita del ing. William Delgado.....</i>	<i>258</i>



Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

La región del Cusco, al 2017, es uno de los mayores beneficiarios en la reducción de la brecha de vías pavimentadas de la red vial nacional, según SINAC, contando con 2 223.1 km de vías pavimentadas y con 13 302.2 km vías por ser pavimentadas; esto hace que su construcción sea una prioridad del Estado.

En la actualidad las plantas de asfalto de la ciudad del Cusco todavía, utilizan en sus pavimentaciones mezclas asfálticas en caliente tradicionales; sin embargo, el uso de mezclas asfálticas modificadas, según estudios, presentan un mejor desempeño que las anteriores.

En nuestra ciudad, muchas avenidas y calles presentan fallas o deterioros debido quizás al elevado flujo vehicular, tal vez a un mal diseño estructural, escaso mantenimiento o probablemente también a la falta de cuidado durante su proceso constructivo - estructural. A continuación, las imágenes nos muestran el deterioro de los pavimentos, en algunos sectores de la ciudad del Cusco:



Figura 1: Baches en el Ovalo Libertadores



Figura 2: Piel de cocodrilo (fatiga) en la Prolongación Av. De la Cultura (frente a la Universidad Andina del Cusco)



Figura 3: Baches (frente a la entrada de la Universidad Andina del Cusco)



Figura 4: Deformación por deficiencia estructural / ahuellamiento en la Av. De la Cultura (paradero Santa Rosa)



Figura 5: Fisuras longitudinales en la av. De la Cultura (frente al grifo San Martin)



Figura 6: Fisuras longitudinales en la Vía Expresa (Parque Puccllaycancha)



Figura 7: Fisuras longitudinales Av. De la Cultura en la (frente al Real Plaza)



Figura 8: Baches Av. Infancia en la primera cuadra (frente a SUBCAFAE)



Esto implica la necesidad de mejorar la tecnología para su elaboración, logrando una mejora en la vida útil de los pavimentos; así como también en su desempeño respecto a las tecnologías tradicionales; con la búsqueda de nuevas técnicas que permitan obtener mejores resultados en la elaboración de las mezclas asfálticas, y con fin aledaño del cuidado del medio ambiente. Según este contexto, el reciclado de vidrio se convierte en una alternativa de solución como sustitución de áridos. Siendo así, un buen motivo de estudio con las características y condiciones de nuestra región. De la misma manera contribuye al cuidado de los recursos naturales y a disminuir el impacto asociado con la extracción y el transporte de éstos.

Debido a ello se realiza la presente investigación con el fin de encontrar una mezcla asfáltica modificada, con vidrio, cuyas propiedades mejoren respecto a una mezcla asfáltica tradicional.

1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

Problema General: ¿Cuál será el resultado del análisis comparativo de la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos de una Mezcla Asfáltica en Caliente Patrón (MACP) con respecto a la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos de una Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada con vidrio reciclado (MACM) en reemplazo en peso del agregado fino en porcentajes de 5%, 8%, 10%, 12% y 15%?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

1.1.2.2.1. Problema específico n°01

Problema específico N°01: ¿Cuál será el resultado del análisis comparativo del porcentaje de vacíos de una MACP con respecto al porcentaje de vacíos de una MACM?

1.1.2.2.2. Problema específico n°02

Problema específico N°02: ¿Cuál será el resultado del análisis comparativo de la magnitud de la estabilidad de una MACP con respecto a la magnitud de la Estabilidad de una MACM?

1.1.2.2.3. Problema específico n°03

Problema específico N°03: ¿Cuál será el resultado del análisis comparativo de la magnitud del flujo de una MACP con respecto a la magnitud del flujo de una MACM?

1.1.2.2.4. Problema específico n°04

Problema específico N°04: ¿Cuál es el contenido óptimo de vidrio en reemplazo del agregado fino en peso de una MACM?



1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

La presente investigación se desarrolla en el ámbito de la infraestructura vial y dentro de ella, en la mecánica de pavimentos. El desarrollo de mezclas asfálticas modificadas muestra una mejora de las propiedades físico – mecánicas en las mezclas asfálticas, en consecuencia y en base a diferentes investigaciones, la adición de vidrio reciclado triturado dentro de la mezcla asfáltica también proporciona mejoras a dichas propiedades.

Dicho eso, podemos contar con el vidrio para mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas. A razón de ello, en la presente investigación se elabora una mezcla asfáltica con adición de vidrio reciclado en peso en determinados porcentajes, bajo un determinado diseño y es comparada con una mezcla asfáltica tradicional a través de sus propiedades físico – mecánicas de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos.

1.2.2. Justificación social

Las fallas o deterioros que presentan las vías de pavimento flexible en la ciudad del Cusco, como las que anteriormente se mencionó, desfavorece la circulación vehicular, así como también la de los peatones; por este motivo se evalúa las propiedades de una mezcla asfáltica con incorporación de vidrio para establecer una carpeta asfáltica de calidad, que asegure resistencia y durabilidad, brindando una mejor serviciabilidad a la sociedad e impulsando la investigación a diversos profesionales; junto a esto, el uso de esta tecnología implica un desarrollo en la economía a través de la creación de nuevos puestos de trabajo.

1.2.3. Justificación por viabilidad

La presente investigación se considera viable al ser desarrollada en el Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto de la Universidad Andina del Cusco, ya que cuenta con maquinarias e instrumentos para el sustento y desarrollo de la tesis; de igual manera, el Laboratorio de Asfalto del Gobierno Regional del Cusco para los ensayos de “Equivalente de Arena”, “Durabilidad al Sulfato de Magnesio de los Agregados” y “Ensayo Marshall”. También contamos con la disponibilidad de manuales y normas técnicas como: Manual de ensayo de materiales MTC E - 2016, Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG - 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Pavimentos Urbanos CE.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones y Normas de “American Society for Testing Materials (ASTM), para el control de calidad de los agregados; recursos económicos y materiales de Gobierno Regional del Cusco, ello ratifica el presente trabajo de investigación.



1.2.4. Justificación por relevancia

La investigación es significativa para el desarrollo de pavimentos asfálticos en caliente y para una buena gestión del uso de recursos reciclados como es el caso del vidrio; debido a la alta cantidad de vidrio de desecho generado por las empresas vidrieras en la ciudad del Cusco, así como en diversas las partes del mundo. Mejorando así, la calidad y durabilidad de las vías de pavimento flexible y disminuyendo de esta forma los costos destinados a su mantenimiento por el deterioro prematuro que presentan. El reciclaje es un medio óptimo para reducir la contaminación en el medio ambiente en base a la reutilización de la materia para nuevos fines. Con todo ello esta aplicación se considera como una propuesta eficaz y eco-amigable para el desarrollo de pavimentos en nuestra región, lo cual hace de la tesis de investigación un tema de estudio relevante, sirviendo de base para otros estudios en nuestra sociedad.

Limitaciones de la investigación

- Se utiliza cemento asfáltico PEN 85-100.
- El agregado proviene de Morro Blanco - Pisac con un tamaño máximo de 3/4” proporcionado por la Planta de Asfalto del Gobierno Regional del Cusco.
- Se utiliza “vidrio” proveniente de los desechos de algunas empresas vidrieras de la ciudad del Cusco.
- La investigación se limita al uso de diseño de mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall, así como también la determinación del porcentaje óptimo de asfalto por el método del Instituto de Asfalto.
- Se limita a la evaluación de porcentaje de vacíos de aire de la mezcla asfáltica dentro de los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas compactadas.
- El trabajo de investigación se limita a la evaluación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica a través del ensayo de estabilidad y flujo Marshall.
- La investigación se basa en el uso de las siguientes normas: Manual de Ensayo de Materiales MTC E 2016, Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Pavimentos Urbanos CE.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones y Normas de “American Society for Testing Materials (ASTM), para el control de la calidad de los agregados y mezcla asfáltica en caliente.
- Se limita al análisis de la mezcla asfáltica en caliente modificada, elaborada con el óptimo contenido de cemento asfáltico PEN 85 – 100, en el cual se sustituye el



agregado fino, en peso, por vidrio reciclado triturado en los porcentajes de 5%, 8%, 10%, 12% y 15% en peso.

- Se limita al uso del Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto de la Universidad Andina del Cusco; para realizar los ensayos de “Durabilidad al sulfato de magnesio de los agregados”, “Equivalente de arena” y “Ensayo Marshall para estabilidad y flujo” se utilizará el Laboratorio de Asfalto y Agregados del Gobierno Regional Cusco.

1.3. Objetivo de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Objetivo general: Analizar comparativamente la variación de la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos de una Mezcla Asfáltica en Caliente Patrón (MACP) con respecto a la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos de una Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada con vidrio reciclado (MACM) en reemplazo en peso del agregado fino en porcentajes de 5%, 8%, 10%, 12% y 15%.

1.3.2. Objetivos específicos

1.3.2.1. Objetivo específico n°01

Objetivo específico N°01: Analizar comparativamente la variación del porcentaje de vacíos de una MACP con respecto al porcentaje de vacíos de una MACM.

1.3.2.2. Objetivo específico n°02

Objetivo específico N°02: Analizar comparativamente la variación de la magnitud de la Estabilidad de una MACP con respecto a la magnitud de la estabilidad de una MACM.

1.3.2.3. Objetivo específico n°03

Objetivo específico N°03: Analizar comparativamente la variación de la magnitud de flujo de una MACP con respecto a la magnitud del flujo de una MACM.

1.3.2.4. Objetivo específico n°04

Objetivo específico N°04: Determinar el contenido óptimo de vidrio reciclado en reemplazo del agregado fino en peso de una MACM.



1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Hipótesis general: La Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada con vidrio reciclado (MACM) en reemplazo en peso del agregado fino en un porcentaje óptimo presenta un mayor valor de estabilidad, menores valores de flujo y porcentaje de vacíos con respecto a una Mezcla Asfáltica en Caliente Patrón (MACP).

1.4.2. Sub - hipótesis

1.4.2.1. Sub - hipótesis n°01

Sub hipótesis n°01: El porcentaje de vacíos de aire de una MACM, disminuye con respecto al porcentaje de vacíos de aire de una MACP.

1.4.2.2. Sub - hipótesis n°02

Sub hipótesis n°02: La magnitud de la Estabilidad de una MACM, presenta un mayor valor, con respecto a la magnitud de la Estabilidad de una MACP.

1.4.2.3. Sub - hipótesis n°03

Sub hipótesis n°03: La magnitud de flujo de una MACM, presenta un menor valor, con respecto a la magnitud del flujo de una MACM.

1.4.2.4. Sub - hipótesis n°04

Objetivo específico n°04: El contenido óptimo de vidrio en reemplazo del agregado fino en peso de una MACM, es de 10%.

1.5. Variables.

1.5.1. Variable independiente

1.5.1.1. Vidrio reciclado triturado

Producto inorgánico, constituido principalmente por sílice. Sus propiedades son: dureza, fragilidad, transparencia y deformable sólo a altas temperaturas, se agregará fragmentos de vidrio de residuo proveniente de vidrierías de la ciudad, trituradas, en porcentajes de peso, de acuerdo con su granulometría hasta un tamaño máximo de 4.27 mm.

Indicador: kilogramos (kg.)



1.5.1.2. Mezcla asfáltica en caliente

Se le llama así a la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante. Las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físico - mecánicas de la mezcla. La mezcla asfáltica en caliente tradicional modificada con vidrio triturado en porcentajes en reemplazo en peso del agregado fino, se realizará bajo controles de las características de los agregados y el vidrio mediante los ensayos realizados.

Indicador: kilogramos (kg.)

1.5.2. Variable dependiente

1.5.2.1. VTM – porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en caliente

Porcentaje total de vacíos de aire del volumen del espécimen, que se medirá en cada porcentaje reemplazado de vidrio triturado en pesos, es decir en 5%, 8%, 10%, 12% y 15%.

Indicador: porcentaje (%)

1.5.2.2. Estabilidad

Resistencia máxima de la mezcla asfáltica a la deformación, que se medirá en cada porcentaje reemplazado de vidrio triturado en pesos, es decir en 5%, 8%, 10%, 12% y 15%.

Indicador: newton (N)

1.5.2.3. Flujo

Deformación máxima de la mezcla asfáltica antes de fallar, que se medirá en cada porcentaje reemplazado de vidrio triturado en pesos, es decir en 5%, 8%, 10%, 12% y 15%.

Indicador: milímetros (mm)

1.5.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 1: Cuadro de operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES					
TIPO	VARIABLE	DESCRIPCION	NIVEL	INDICADOR	INSTRUMENTOS
VARIABLE INDEPENDIENTE	Vidrio molido	Producto inorganico constituido principalmente por silice, sus propiedades son: dureza, fragilidad, transparencia y es deformable sólo a altas temperaturas. Se usa fragmentos de vidrio de residuo proveniente de vidrierías de la ciudad, trituradas y molidas hasta un tamaño máximo de 4.27 mm.	Porcentaje en Peso (%)	Dosificacion según diseño en (Kg)	Fichas de laboratorio y Fichas de procesamiento en Gabinete
	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	Se llama así a la combinación de aridos (incluido el polvo mineral) con un ligante. Las cantidades relativas de ligante y aridos determinan las propiedades físico - mecánicas de la mezcla asfáltica. La mezcla asfáltica en caliente tradicional, modificada con vidrio molido en porcentajes en reemplazo en peso del agregado fino se realiza bajo controles de las propiedades de los agregados y del vidrio a travez de los ensayos realizados.	AGREGADO FINO	Dosificacion según diseño en (Kg)	Fichas de laboratorio y Fichas de procesamiento en Gabinete
			AGREGADO GRUESO	Dosificacion según diseño en (Kg)	Fichas de laboratorio y Fichas de procesamiento en Gabinete
			Cemento Asfáltico PEN 85 - 100	Dosificacion según diseño en (Kg)	Fichas de laboratorio y Fichas de procesamiento en Gabinete
VARIABLE DEPENDIENTE	PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE - VTM	Porcentaje total de vacíos de aire del volumen del espécimen.	Porcentaje de Vacios con 5% de vidrio	PORCENTEJE DE VACIOS DEL ESPECIMEN EN PORCENTAJE (%)	Fichas de laboratorio y Fichas de procesamiento en Gabinete
			Porcentaje de Vacios con 8% de vidrio		
			Porcentaje de Vacios con 10% de vidrio		
			Porcentaje de Vacios con 12% de vidrio		
			Porcentaje de Vacios con 15% de vidrio		
	ESTABILIDAD MARSHALL	Resistencia máxima de la mezcla asfáltica a la deformación.	Magnitud de Estabilidad con 5% de vidrio	MAGNITUD DE LA ESTABILIDAD DEL ESPECIMEN EN FUERZA (N)	Fichas de laboratorio y Fichas de procesamiento en Gabinete
			Magnitud de Estabilidad con 8% de vidrio		
			Magnitud de Estabilidad con 10% de vidrio		
			Magnitud de Estabilidad con 12% de vidrio		
			Magnitud de Estabilidad con 15% de vidrio		
	FLUJO MARSHALL	Deformación máxima de la mezcla asfáltica antes de fallar.	Magnitud de Flujo con 5% de vidrio	MAGNITUD DEL FLUJO DEL ESPECIMEN EN LONGITUD (mm)	Fichas de laboratorio y Fichas de procesamiento en Gabinete
			Magnitud de Flujo con 8% de vidrio		
Magnitud de Flujo con 10% de vidrio					
Magnitud de Flujo con 12% de vidrio					
			Magnitud de Flujo con 15% de vidrio		



Capítulo II: Marco teórico

2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

2.1.1.1. Antecedentes a nivel nacional N°01

Título de la investigación: *ASFALTOS MODIFICADOS CON VIDRIO Y SU COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO CON LOS ASFALTOS CONVENCIONALES.*

Autor: GUTIERREZ SILVESTRE, ABEL ANDREI

Institución: UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

Ciudad: Huancayo

Año: 2018

Resumen:

“La presente investigación tuvo como problema general ¿Cuál es la diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales?, el objetivo general fue determinar las diferencias técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales- Huancayo, la hipótesis general que se verificó fue: existen diferencias significativas técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales- Huancayo. El método general de investigación que se utilizó fue el científico, el tipo de investigación es el aplicado, de nivel descriptivo comparativo y de diseño experimental. La población estuvo conformada por 60 briquetas de ensayo, no se utilizó la técnica del muestreo dado que la población es pequeña, por tanto, se utilizó el censo. La conclusión fundamental consistió en que, si existen diferencias técnicas y económicas entre los asfaltos convencionales y los asfaltos modificados con vidrio, siendo los asfaltos convencionales quienes presentan menos ventajas que los asfaltos modificados con vidrio en la provincia de Huancayo

Conclusiones:

- Se determinó las diferencias técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales - Huancayo. Como se observa en el primer cuadro de la metodología de Marshall se evidencia que existe mayores indicadores que señalan que es mucho más técnico trabajar con los asfaltos modificados con vidrio en



comparación a los asfaltos convencionales, de la misma manera los costos del asfalto convencional es menor que el asfalto modificado con vidrio, por lo tanto se acepta la hipótesis alterna que menciona que existe diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.

- Se Identificó las diferencias técnicas entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales. Como se observa en el cuadro comparativo se tiene que el porcentaje de las pruebas con vidrio (62.5%) es mayor al 50%, por tal razón se cumple la hipótesis alterna que plantea que existe diferencias técnicas entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales, es decir las características técnicas son mejores con el uso del vidrio que con el sistema convencional. Las diferencias técnicas variaron de acuerdo al aumento de porcentajes de vidrio, identificando que al adicionar al diseño un 2% de vidrio mejora las propiedades del asfalto a diferencia del asfalto convencional, ya que aumenta la estabilidad en 7.50% en relación al asfalto convencional, generando una mayor resistencia a deformaciones permanentes, estos resultados se ajustan mejor al requerimiento establecidos en EG 2013.

2.1.1.2. Antecedentes a nivel nacional N°02

Título de la investigación: *“DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR VIDRIO MOLIDO, EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F’C 210 KG/CM2, UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA DE VICHO Y AGREGADO FINO DE LAS CANTERAS DE CUNYAC Y MINA ROJA”*

Autor: Ccorimanya Sota Carmen Milagros – Cabrera Vilca Cristian Mao

Institución: Universidad Andina Del Cusco

Ciudad: Cusco

Año: 2016

Resumen:

“En el presente trabajo de investigación se evaluó el comportamiento de la resistencia a compresión ($f'c$) con la sustitución de vidrio molido en reemplazo del agregado fino en porcentajes de 15%, 20%, 25%, 30%, 40%, y 60%, y a partir de los resultados obtenidos se



determinó que la resistencia a la compresión en Probetas-Testigos de concreto de diseño $f'c$ 210 kg/cm², incrementa significativamente su resistencia

Se utilizó el vidrio molido como agregado fino en función granulométrica según lo estipula la Norma Técnica Peruana.

Cabe precisar que los componentes o materiales del concreto, utilizados en los diferentes ensayos de la investigación, fueron sujetos al cumplimiento de las condiciones ideales de la Norma Técnica Peruana, para obtener resultados óptimos.

El agregado grueso fue obtenido de la cantera de Vicho, el agregado fino de las canteras de Cunyac y Mina Roja, y el vidrio molido recolectado de la procedencia de los restos de botellas de gaseosa Coca Cola.

Así mismo este elemento (vidrio) puede ser reciclado por parte de los depósitos y/o distribuidoras de gaseosa, pudiéndose usar en la construcción de obras civiles de nuestro entorno contando con los implementos y equipos de seguridad necesaria.

Partiendo de los resultados, se obtuvieron conclusiones: que la mejor resistencia adquirida en la sustitución del agregado fino por vidrio molido a los 28 días es al 25%, y los demás evaluados están por encima del concreto patrón (control).

De la presente investigación se rescata el método de trituración de vidrio, el cual consiste primeramente en la trituración manual a través de un combo y posteriormente haciendo uso de la Máquina de los Ángeles.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional

2.1.2.1. Antecedentes a nivel internacional N°01

Título de la investigación: *USO DE VIDRIO MOLIDO EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS, CON EL PROPÓSITO DE REDUCIR LA CONTAMINACIÓN*

Autor: Karlenn Nicol Freire Alvear

Institución: Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Ciudad: Quito – Ecuador

Año: 2018



Resumen:

“La presente investigación de disertación de la carrera de ingeniería civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, se la trabajo en el laboratorio de pavimentos, realizando una mezcla asfáltica con adición de vidrio molido, obteniendo resultados mecánicos y de costos para determinar si es factible la implementación de este método en nuestra realidad.

Conclusiones:

- El porcentaje optimo según los resultados obtenidos es del 12% ya que este cumple con la estabilidad, flujo y % de vacíos, sin embargo, si se retirara agregado fino, el % de vidrio que se le podría adicionar a la mezcla asfáltica seria mayor ya que así se evitaría que la mezcla se vuelva rígida
- Al aumentar el vidrio molido se observan variaciones significativas en la estabilidad, y flujo, como podemos observar en la tabla siguiente de resultados donde se ve que con vidrio la estabilidad promedio con cada porcentaje va entre 5300-6000 lbf, que es significativamente mayor que con la mezcla original, sin embargo en el flujo también aumenta pero de manera paulatina llegando al límite permitido de 14, con lo que se concluye que si se aumenta el % de vidrio, el flujo aumentaría volviendo a la mezcla rígida y al aplicarla en una capa asfáltica va a provocar fisuramientos temprano, por la presencia de demasiado material fino. Sin embargo, la resistencia medida por la estabilidad es mucho mayor con la adición de vidrio molido.
- Realizando un análisis comparativo entre la mezcla original y con la adición de vidrio molido, con los resultados obtenidos se pudo ver que la estabilidad y flujo mejoraron al igual que el VAF, sin embargo el % Va aumento demasiado sobrepasando el límite de 5 para tráfico pesado llegando con el 15% de vidrio a 7,31% de vacíos
- Realizando un análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica original respecto a la alterada con vidrio, se ve que a medida que se aumenta el vidrio, el valor de la mezcla aumentará también, teniendo una relación directamente proporcional, sin embargo el aumento no es de gran magnitud ya que aumenta alrededor de 0,02% por m³ con respecto a la mezcla original. Siendo así que el valor por m³ de mezcla asfáltica original sale con un valor de \$61,11, y con la adición de vidrio del 3% tiene un valor de \$61,45.



2.1.2.2. Antecedentes a nivel internacional N°02

Título de la investigación: *TESIS DOCTORAL, ANÁLISIS DE LA REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA DE SILESTONE EN LA FABRICACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS*

Autor: Antonio Francisco Belmonte Sánchez

Institución: Universidad De Granada

Ciudad: Granada – España

Año: 2009

Resumen:

“El nivel de desarrollo alcanzado en la sociedad actual ha traído consigo, además de una mejora sustancial en la calidad de vida y la implantación de un estado de bienestar próspero, la aparición de una serie de problemas que suponen una amenaza para garantizar la satisfacción de las necesidades futuras. El consumo desmedido de los recursos naturales, así como el aumento y diversificación de los residuos generados en la mayor parte de las actividades causantes de este desarrollo, han obligado a establecer sistemas de gestión y producción más eficientes, que permitan conseguir un proceso de evolución sostenible.

Una de las principales responsables de este progreso ha sido la proliferación de las infraestructuras, y en especial, de las carreteras. Como consecuencia de ello, éstas también se han convertido en una de las responsables de la actual situación de escasez de materias primas y acumulación de residuos, y por tanto, las técnicas de construcción utilizadas en ellas, están siendo encaminadas a minimizar el impacto generado sobre el medio ambiente.

En los últimos años, el desarrollo de técnicas basadas en la reutilización de residuos ha permitido concebir a las carreteras como una posible solución a esta problemática. Concretamente, el empleo de residuos como sustitutivos de los áridos utilizados en su construcción, suponen, no solo la disminución de éstos en vertederos, sino también la reducción del impacto generado por la explotación de canteras y el transporte de áridos.

En este contexto, surge la investigación desarrollada por la presente tesis doctoral, cuyo objetivo es analizar la reutilización de residuos procedentes de la industria de Silestone® como



sustitutivo de los áridos naturales, en la fabricación de mezclas bituminosas para su empleo en la construcción de firmes de carreteras.

El presente documento, recoge los trabajos llevados a cabo durante el desarrollo del estudio realizado, los cuales contemplan la caracterización de los residuos de Silestone® para su empleo en la fabricación de las mezclas asfálticas, el diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de dichos residuos, y el análisis de la viabilidad de aplicación de éstas en obra mediante la ejecución de un tramo de prueba experimental.

Los resultados obtenidos tanto a nivel de laboratorio, como en obra, ponen de manifiesto la posibilidad de reutilizar los residuos de Silestone® como sustitutos totales o parciales de los áridos naturales en la fabricación de mezclas bituminosas para capas de rodadura de carreteras.

Conclusiones:

- Las propiedades mostradas por los residuos de Silestone® durante los ensayos de caracterización lo convierten en un material muy interesante para ser reutilizado como sustitutivo de áridos naturales en la fabricación de mezclas bituminosas para capas de rodadura en firmes de carretera.
- Las mezclas diseñadas en laboratorio con residuos de Silestone® como sustitutos, totales o parciales, de áridos naturales cumplen con todas las especificaciones exigidas por la normativa de carreteras, y por tanto son aptas para su utilización en la capa de rodadura de firmes de carretera.
- El comportamiento durante la fabricación y la puesta en servicio de las mezclas con residuos de Silestone® demuestra la viabilidad de su utilización en la construcción de carreteras.
- Las mezclas que incorporan residuos de Silestone® son más estables a las variaciones de betún que las mezclas convencionales. Este hecho supone una ventaja en caso de fallo en la dosificación de betún en planta, puesto que sus propiedades no variarán demasiado.”

2.1.2.3. Antecedentes a nivel internacional N°03

Título de la investigación: *PAVIMENTOS SUSTENTABLES CON VIDRIO RECICLADO EN ASFALTO PARA VÍAS PÚBLICAS*

Autor: Cabascango, Mireya, Benalcázar, Javier, Suárez, Alexandra



Institución: Universidad Técnica del Norte

Ciudad: Ibarra - Ecuador

Año: 2016

Resumen:

“El presente proyecto se enfoca principalmente al proceso de “Elaboración de asfalto con vidrio triturado”, para lo cual se ha construido una máquina trituradora de vidrio, con el fin de pulverizar las botellas de vidrio desechadas en bares cercanos a la Universidad Técnica del Norte.

Se diseñó en SolidWorks con un material adecuado para la construcción, posteriormente se construye el mecanismo triturador que consta principalmente de un sistema de martillos, tamiz, tolvas de entrada y salida, sistema de poleas y un motor.

Con la materia de botellas de vidrio, se realizaron varias pruebas con el asfalto, para esto se utilizó el 20% de vidrio según las Normas ASSTHO, de la misma manera se le añadió lastre, brea y más componentes asfálticos; se hizo comparaciones con el asfalto habitual donde se observa variaciones en cuanto a presión y temperatura debido que el vidrio triturado posee excelentes propiedades térmicas y reflexivas.

Conclusiones:

- Las principales propiedades que poseen las botellas de vidrio son: resistencia a la corrosión, durabilidad, conductividad térmica, refractarios y sobre todo son resistente al agua y ácido; mediante los cuales podemos identificar los beneficios tales como: es un material totalmente inofensivo, por lo cual **no reacciona con el resto de componentes del asfalto, no daña las ruedas del vehículo, bajos niveles de ruido de las llantas y la superficie del asfalto es más refractivo que el convencional**, además que adquiere una temperatura inferior al del pavimento habitual.
- El porcentaje de vidrio triturado necesario óptimo es 20% de acuerdo con la Norma que se publicó en 2008 AASHTO (M-318-01) por la Autoridad Federal de Carreteras (FHWA). **Con este porcentaje de vidrio el pavimento adquiere las propiedades térmicas y reflexivas que hacen un pavimento útil, sustentable, duradero y a la vez no pierde las propiedades básicas como la dureza que un pavimento habitual tiene**. Las características



de dureza se ven afectadas cuando se hizo los ensayos con el 30% y 40%, debido a que se excedió el límite de la Norma, por lo que presentaban desquebraja miento.

- El pavimento con vidrio adquiere excelentes propiedades en cuanto a la temperatura y presión, así por ejemplo expuesto 5 horas al sol, la temperatura del asfalto común llega a los 56°C mientras que el asfalto que contenía 20% de vidrio midió 43°C, del mismo modo el asfalto común soporta 1000 psi en comparación a las 2700 psi que soportó el asfalto con vidrio. En el caso del ensayo 5 con el 40% de vidrio adquiere una temperatura menor a todos los ensayos como es 38°C y a la vez soporta 3000 lb de presión, siendo el nivel más alto de todos los ensayos, pero debido al excesivo porcentaje de vidrio se lo descartó de acuerdo a la Norma vigente.”

2.1.2.4. Antecedentes a nivel internacional N°04

Título de investigación: *“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL VIDRIO MOLIDO EN HORMIGONES GRADO H15, H20, Y H30”*

Autor: Carlos Javier Catalán Arteaga

Institución: Universidad Austral De Chile

Ciudad: Valdivia – Chile

Año: 2013

Resumen:

“La industria de la construcción es la mayor generadora de residuos sólidos a nivel país, alcanzando un 34% de participación para el año 2009, según cifras de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). La extracción, transporte y tratamiento de materias primas, además del impacto medioambiental ocasionado, impulsa la búsqueda de alternativas para hacer sustentable la ejecución de proyectos de obras civiles en general. Este trabajo de investigación tiene por finalidad dar una perspectiva al lector, acerca de la reutilización del vidrio de desecho, como un agregado no natural en el hormigón, considerándolo como un árido más, reemplazando una cantidad controlada de arena. Para determinar la influencia del vidrio triturado en la mezcla, se confeccionaron mezclas de hormigón de prueba, de graduación H15, H20 y H30, con porcentajes variables de vidrio en reemplazo de una fracción de la arena. Las resistencias obtenidas se comparan con la resistencia de hormigones patrones, sin adición de vidrio. Además, es de interés para este estudio, la variación producida en otras propiedades del



hormigón, como la docilidad y la densidad final de la mezcla. Los resultados muestran que el hormigón con adición de vidrio, mantiene prácticamente inalterable sus propiedades, tanto en estado fresco como endurecido, observándose un ligero aumento en la resistencia de las mezclas con un 10% de agregado de vidrio, resultado que es consistente con estudios previos, y que además confirma la hipótesis propuesta.

Conclusiones:

- El contenido de materia orgánica en el vidrio es despreciable, siempre y cuando se le dé un tratamiento adecuado de limpieza, previo a su incorporación en la mezcla de hormigón, lo que se traduce en una mayor estabilidad físico-química a reaccionar con distintos agentes presentes ya sea en el agua de amasado, o en el cemento mismo.
- Se deben establecer condiciones adecuadas para la manipulación y trituración del vidrio, teniendo especial cuidado al manejar granulometrías menores a 5mm, debido a la composición 71 del mismo, con un alto contenido de Sílice, el que al ser aspirado en grandes cantidades puede ser nocivo para la salud, provocando en casos extremos, enfermedades como la silicosis.”

2.2. Aspectos teóricos pertinentes

2.2.1. Pavimento

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento (Montejo, F., 2002).

2.2.2. Estructura de un pavimento

Capas de mezclas de asfalto y áridos, juntamente con cualquier capa no rígida comprendida entre las capas asfálticas y la cimentación o terreno natural. La palabra flexible, empleada a veces en relación con los pavimentos asfálticos, se refiere a la posibilidad de estas estructuras de adaptarse a los asientos de la cimentación. (The asphalt institute; productos asfálticos S. A, 1962)

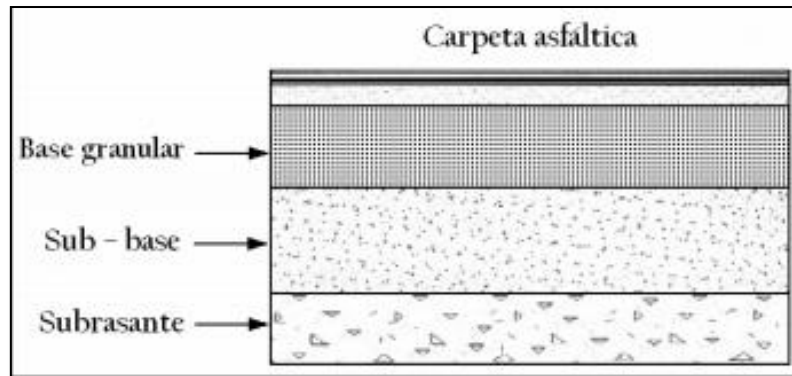


Figura 9: Capas que conforman un pavimento flexible

2.2.2.1. Subrasante

Capa superior de material colocado en los terraplenes, o no movido de las trincheras, en la normal preparación de la explanación. Se emplea como cimentación para la estructura del pavimento asfáltico. Sin embargo, si el terreno de base es de alto poder portante y está adecuadamente compactado, puede sustituir a las capas de terreno mejorado, sub base o incluso de base de la estructura del pavimento asfáltico según su calidad. (Coronado, J., 2002)

El terreno de fundación puede estar conformado por un terraplén (caso de rellenos) o terreno natural en el caso de cortes, para ambos casos, la cota geométrica superior se denomina subrasante. (Minaya & Ordoñez, 2006)

2.2.2.2. Sub base

Capa de la estructura del pavimento asfáltico situada inmediatamente bajo la capa de base. Si el terreno de base es de calidad adecuada puede servir como sub base. (The asphalt institute; productos asfálticos S. A, 1962)

Es una capa que según el diseño puede o no colocarse. Se apoya sobre la subrasante y los requisitos de calidad de los materiales que la conforman son menos rigurosos, la razón de esto es que los esfuerzos verticales que se transmiten a través de las capas de pavimentos son mayores en la superficie y van disminuyendo a medida que se profundizan. La sub base es la capa de material seleccionado, más profunda de la estructura del pavimento, razón la que los materiales que la conforman cumplen requisitos menos rigurosos. (Minaya & Ordoñez, 2006)



2.2.2.3. Base

Capa de material situada inmediatamente bajo la capa intermedia. Puede componerse de piedra machacada, escoria machacada, grava, machacada o no, y arena; o combinaciones de estos materiales. (The asphalt institute; productos asfálticos S. A, 1962)

La capa de base, generalmente granular, es una capa que se apoya sobre la sub base. La función de esta capa es transmitir los esfuerzos provenientes del tráfico, a la sub base y subrasante. Los requisitos de calidad de agregados de base son muy rigurosos. (Minaya & Ordoñez, 2006)

2.2.2.4. Carpeta asfáltica

Es la parte que soporta directamente las sollicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales y estructurales, absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. En condiciones de alta intensidad del tránsito pueden llegar a alcanzar espesores considerables.

Las carpetas se construyen con concretos hidráulicos o con mezclas asfálticas en frío o caliente, denominándose en este caso concretos asfálticos, los cuales pueden contener algún agente modificador para mejorar alguna de sus características. (Tapia, M., SA)

2.2.3. Tipos de pavimento

2.2.3.1. Pavimento Flexible

El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso, aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: tratamiento superficial bicapa, (...) mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. (Montejo, F., 2002)

2.2.4. Función de la carpeta de rodadura

- Superficie de rodamiento. La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- Impermeabilidad. Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.



- Resistencia. Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

(Montejo, F., 2002)

2.2.5. Mezcla asfáltica

2.2.5.1. Definición de mezcla asfáltica

Una mezcla asfáltica es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir pavimentos. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (fíller) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante 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. (Zúñiga, 2015)

2.2.5.2. Tipos de mezclas asfálticas

2.2.5.2.1. Mezcla en caliente

Se define como mezcla asfáltica (o bituminosa) en caliente a la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante. Las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas de la mezcla. El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura, muy superior a la ambiental. Enseguida esta mezcla es colocada en la obra. (Zúñiga, 2015)

2.2.6. Componentes de una mezcla en caliente

2.2.6.1. Agregados pétreos y filler o relleno mineral

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal que, al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito.

Se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (Nº4 y



Nº200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75 μm (Nº200). (Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2013)

Los áridos se emplean, combinados con asfaltos de diversos tipos, para preparar mezclas de utilidades muy diversas. Como los áridos constituyen normalmente el 90% en peso o más de estas mezclas sus propiedades tienen gran influencia sobre las del producto terminado. Los áridos más empleados son piedra y escoria partidas, grava machacada o natural, arena y filler mineral. En la construcción de pavimentos asfálticos el control de las propiedades de los áridos es tan importante como el de las del asfalto. (Institute, the asphalt; S.A., Productos asfálticos, 1962)

La denominación técnica “agregados pétreos” en pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o filler (naturales o triturados), utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén, afirmado, sub - base y/o base granular. En términos generales, en un ensayo de granulometría por cribado o tamizado, las partículas con diámetro entre 2 mm y 6.4 cm son reconocidas como gravas. Aquéllas con diámetro entre 0.075 y 2 mm son reconocidas como arenas (gruesas y finas) y las que son de diámetro inferior a 0.075 mm son reconocidas como tamaño de arcilla. Estas últimas pueden adquirir la denominación de filler o llenante mineral si no experimentan plasticidad en contacto con el agua (Índice de Plasticidad igual a cero). (Rondon, Q. y Reyes, F. , 2015)

El agregado debe estar constituido por partículas limpias, duras, resistentes y durables, que desarrollen buena adherencia, libres de recubrimientos de arcilla y de impurezas que interfieran el desarrollo de resistencia del conjunto.

Según su procedencia los agregados o áridos se clasifican en:

- Agregados naturales: se encuentran en la naturaleza y proceden de la disgregación de las rocas.
- Agregados artificiales: son los que se obtienen por procedimientos mecánicos o sea por trituración.



Según su tamaño los agregados se clasifican en:

- Agregado fino (arena): son de tamaño menor de 5mm de diámetro y se considera como arena todo aquel material que pasa el tamiz N°4 y es retenido en el tamiz N°200, los materiales que pasan por el tamiz N°200 se denominan limos y arcillas.
- Agregado grueso (grava): gravas, es mayor de 5mm de diámetro y todo el material es retenido en el tamiz N°.4.

(Matus, I. Y Blanco, M., 2013)

Los agregados pétreos conforman entre el 88% y el 96% de la masa y más del 75% del volumen de las mezclas asfálticas. Dentro de las mezclas asfálticas, son los encargados de soportar las cargas impuestas por el parque automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes. De la calidad de estos materiales depende en gran medida la evolución de los mecanismos de daño que ocurren en mezclas asfálticas como son el ahuellamiento, la fatiga, el stripping y el daño por humedad. (Rondon, Q. y Reyes, F. , 2015)

2.2.6.2. Material asfáltico

2.2.6.2.1. Concepto

Es un material aglomerante de color que varía de pardo oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la Naturaleza como tales o que se obtienen en la destilación del petróleo. El asfalto entra en proporciones variables en la constitución de la mayor parte de los crudos del petróleo.

El asfalto es un material de particular interés para el ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación. (Institute, the asphalt; S.A., Productos asfálticos, 1962)

Material cementante, de color oscuro y de consistencia variable, cuya rigidez depende de la temperatura en que se encuentre. A temperatura ambiente el asfalto es sólido a semisólido, y cuando su temperatura se eleva se vuelve líquido, esta condición permite que los agregados sean cubiertos completamente, durante la mezcla.



Los asfaltos naturales se encuentran en depresiones de la corteza terrestre formando los lagos de asfalto o aparecen impregnados en calizas, formaciones de areniscas o similares, formando las llamadas rocas asfálticas, también se encuentran mezclados por impurezas minerales. (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

Los productos asfálticos utilizados en pavimentos provienen de la destilación del petróleo crudo, ya sea de forma natural o industrializada. Estos materiales ligan el agregado pétreo para conformar mezclas asfálticas y son los responsables de brindar, a la capa asfáltica resistencia mecánica bajo carga monotónica, estática y/o cíclica, impermeabilidad y durabilidad. (Rondon, Q. y Reyes, F. , 2015)

2.2.6.2.2. Propiedades

Las propiedades y características de los materiales asfálticos dependen de su estructura y composición química; pero dada su gran complejidad, estos materiales se caracterizan mediante ensayos empíricos para valorar las propiedades que tiene que poseer para emplearse como ligantes en obra de carreteras.

Las propiedades fundamentales que tienen que poseer los asfaltos para su empleo en carretera son:

- Carácter termoplástico: por acción de la temperatura su consistencia debe disminuir de manera que sean capaces de "mojar" y envolver los áridos. Al enfriarse debe adquirir la consistencia primitiva y dar cohesión a la mezcla.
- Buen comportamiento mecánico y reológico para resistir las tensiones impuestas por el tráfico y poder mantener a las temperaturas de servicio, la estructura de la mezcla asfáltica.
- Resistir al envejecimiento frente a los agentes atmosféricos y condiciones ambientales para conservar sus propiedades con el tiempo.

Es decir, que las propiedades fundamentales que deben poseer los asfaltos para emplearse en carreteras son: adhesividad a los áridos, buen comportamiento reológico y resistencia al envejecimiento. (Maila, M., 2013)



2.2.6.2.3. Tipos

El tipo de asfalto más comúnmente usado para la construcción de pavimentos flexibles es:

- Cementos Asfálticos

Son aglomerantes de color oscuro, constituidos por complejas cadenas de hidrocarburos de alto peso molecular, su comportamiento físico – químico lo caracteriza como un fluido coloidal no newtoniana, coloidal debido a que presentan núcleos de polímeros, con tendencia a condensarse por su afinidad polar, disueltos dentro de una solución o fase continua de hidrocarburos de inferior masa molecular que contiene el estado de suspensión coloidal a los primeros. Presenta una influencia de los componentes del material en el resultado final de sus propiedades, los asfáltenos brindan en aporte mecánico de dureza, las resinas las características adherentes y los aceites la manejabilidad de este. (Leon, L., 2003)

Como ya se mencionó el cemento asfáltico se obtiene, por destilación del crudo del petróleo mediante diferentes técnicas de refinación. El producto obtenido en los fondos de la torre de vacío luego de procesos de destilación por unidades primarias y de vacío, es el cemento asfáltico de petróleo, de consistencia semisólida a temperatura ambiente.

A temperatura ambiente el cemento asfáltico es negro, pegajoso, semi - sólido y altamente viscoso. Éste es resistente y durable con excelente adhesividad y características a prueba de agua, altamente resistente a la acción de ácidos, álcalis y sales. El cemento asfáltico se usa en grandes cantidades, para la producción de Mezclas Asfálticas en Caliente (HMA), primordialmente usado en la construcción de pavimentos flexibles en todo el mundo. El cemento asfáltico puede ser mezclado con agregados para la producción del HMA, su propiedad de adhesividad facilita la unión con el agregado que después de poner a temperatura ambiente, el HMA es un muy fuerte material de pavimento que puede soportar el tráfico pesado. (Maila, M., 2013)

2.2.6.2.4. Función del cemento asfáltico.

Aprovechando las singulares propiedades del cemento asfáltico; impermeabilidad, cohesividad, adherencia y capacidad para resistir esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de cargas permanentes, las funciones que prestan en la estructura del pavimento son:

- Permitir la unión y la cohesión entre los agregados minerales para resistir el ataque mecánico del tránsito.



- Dar la impermeabilidad necesaria para proteger las capas estructurales del pavimento.
- Brindar el confort y la economía a los usuarios de la vía.
- Aporta resistencia a la mezcla sobre los efectos abrasivos del tránsito, de la intemperie y la variación de temperatura ambiental.
- La cantidad de asfalto en una mezcla es uno de los factores más importantes en la calidad del pavimento, en el diseño debe existir un equilibrio tal, que exista el suficiente cementante para cubrir los agregados, conformar los vacíos necesarios para el funcionamiento final de la mezcla sin perder la estanqueidad del conjunto.

(Leon, L., 2003)

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; tal como lo indica la Tabla n°02.

Tabla 2: *Temperatura Media Anual – Cemento Asfáltico*

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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2013)

2.2.7. Normativa para la calidad de los materiales usados en mezclas asfálticas en caliente y para mezclas asfálticas

La calidad de los materiales y mezcla asfáltica estará sujeta a los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG–2013”; así como también en la Norma Técnica CE. 010. Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE.

2.2.7.1. Requerimientos normativos para los materiales según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013”

2.2.7.1.1. Requerimiento para los agregados gruesos

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas



planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación. Estos deben cumplir con lo indicado en la siguiente tabla.

Tabla 3: *Requerimientos para los agregados gruesos para mezclas asfálticas en caliente - manual de carreteras EG - 2013*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTCE 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTCE 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTCE 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTCE 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTCE 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTCE 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTCE 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.

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2013)

2.2.7.1.2. Requerimiento para los agregados finos

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico, (...). Estos deben cumplir con lo indicado en la siguiente tabla.



Tabla 4: *Requerimientos para los agregados finos para mezclas asfálticas en caliente-manual de carreteras EG - 2013*

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.º 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.º 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.

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2013)

2.2.7.1.3. Requerimiento para el cemento asfáltico

Deberá cumplir lo indicado en la siguiente tabla:

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
		Pruebas sobre el Material Bituminoso									
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Olfensies)⁽²⁾											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾	MTC E 306			50		75		100		100	

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.

(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2013)

2.2.7.1.4. Para la gradación de los agregados

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la siguiente tabla.



Tabla 5: Gradación de los agregados para mezclas asfálticas en caliente - manual de carreteras EG -2013

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.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2013)

2.2.7.1.5. Para la mezcla asfáltica

Las características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso, según corresponda al tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al diseño del proyecto. Ésta debe cumplir con los requisitos de la siguiente tabla.

Tabla 6: Requisito para mezcla de concreto bituminoso - manual de carreteras EG - 2013

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	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
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% (es deseable que tienda 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 más 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 frío 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: $\frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 5}$ siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.			

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2013)



Tabla 7: Vacíos mínimos en el agregado mineral - manual de carreteras EG – 2013

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.º 8)	21	-
4,75 mm (N.º 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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2013)

2.2.7.2. Requerimientos normativos para los materiales según la Norma Técnica CE.010. Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE

2.2.7.2.1. Para los agregados gruesos

Estos materiales deben cumplir los requisitos establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 8: Requerimientos para los agregados gruesos de mezclas asfálticas en caliente

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 400.019:2002	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 E519-2000	+ 95	

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

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



Tabla 9: *Requerimientos caras fracturadas*

Tipos de Vías	Espesor de Capa	
	< 100 mm	> 100 mm
Vías Locales y Colectoras	65/40	50/30
Vías Arteriales y Expresas	85/50	60/40

Nota: La notación "85/50" indica que el 85 % del agregado grueso tiene una cara Fracturada y que el 50 % tiene dos caras fracturadas.

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

2.2.7.2.2. Para los agregados finos

Estos materiales deben cumplir los requisitos establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 10: *Requerimientos para los agregados finos de mezclas asfálticas en caliente*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		< 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

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

Tabla 11: *Requerimientos del equivalente de arena*

Tipos de Vías	Equivalente Arena (%)
Vías Locales y Colectoras	45 mínimo
Vías Arteriales y Expresas	50 mínimo

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



Tabla 12: *Angularidad del agregado fino*

Tipos de Vías	Angularidad (%)
Vías Locales y Colectoras	30 mínimo
Vías Arteriales y Expresas	40 mínimo

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

2.2.7.2.3. Gradación

La gradación de los agregados será según la siguiente tabla.

Tabla 13: *Gradación 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

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

2.2.7.2.4. Para el cemento asfáltico

Tabla 14: *Grados de asfalto recomendados para diferentes condiciones de temperatura*

Condición de Temperatura	Grados de Asfalto
Frío, temperatura media anual del aire ≤ 7 °C	PEN 120/150, 85/100
Templado, temperatura media anual del aire entre 7 °C y 24 °C	PEN 85/100, 60/70
Caliente, temperatura media anual del aire ≥ 24 °C	PEN 60/70, 40/50

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

2.2.8. Ensayos de Calidad para los Agregados

2.2.8.1. Granulometría del Agregado Grueso y Fino MTC. E204

Se agita una cantidad pesada de áridos perfectamente secos sobre una serie de tamices con aberturas cuadradas. Los tamices están unidos de forma que el de mayor abertura está en la parte superior y los de aberturas sucesivamente más pequeñas están situados debajo. Bajo el



último tamiz se coloca una bandeja que recoge todo el material que pasa a través de él. La agitación se aplica normalmente con aparatos automáticos.

Se determina el peso de material retenido en cada tamiz y se expresa en porcentaje del peso de la muestra original. Usualmente resulta conveniente anotar estos datos en un gráfico. En estos gráficos debe indicarse el porcentaje total, en peso, que pasa por cada tamiz. Las curvas así obtenidas son un cómodo instrumento que da rápidamente idea de las características granulométricas de los áridos.

Los tamices usados normalmente en las mezclas asfálticas para pavimentación son los de abertura cuadrada de 2 ½", 2, 1 ½", 1 ¾", ½" y 3/8" de pulgada y los de 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200 mallas por pulgada lineal. Para los elementos finos se emplean a veces tamices de 4, 10, 40, 80 y 200 mallas por pulgada lineal. (Institute, the asphalt; S.A., Productos asfálticos, 1962)

La gradación es una de las más importantes propiedades de los agregados. Ésta afecta casi a todas las propiedades importantes de una mezcla asfáltica en caliente, incluyendo dureza, estabilidad, durabilidad, permeabilidad, trabajabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al rozamiento y resistencia a la humedad. De esta manera, la gradación es la primera consideración en un diseño de mezclas asfálticas. (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

2.2.8.2. Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso por medio de la Máquina de los Ángeles ASTM C-131, ASTM C-535 y MTC E207

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por esta razón los agregados que están en, o cerca de la superficie, como son los materiales de base y carpeta asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas del tránsito.



Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 ó AASHTO T-96 y ASTM C-535, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión. (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

Este Modo Operativo 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. Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con su contenido. Luego de un número de revoluciones establecido, el agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida. (Manual de ensayo de materiales, 2016)

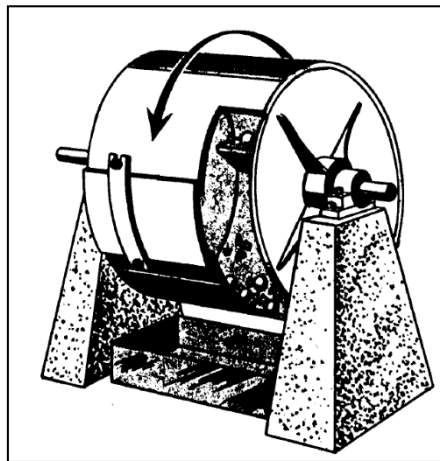


Figura 10: Máquina de los ángeles

Fuente: (Institute, the asphalt; S.A., Productos asfálticos, 1962)

2.2.8.3. Índice de Aplanamiento y Alargamiento de Agregados para Carreteras MTC E221

Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los agregados que se van a emplear en la construcción de carreteras.



Este modo operativo se aplica a los agregados de origen natural o artificial, incluyendo los agregados ligeros y no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3mm (1/4") o mayores de 63mm (2 1/2").

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.

Este modo operativo no intenta indicar todo lo concerniente acerca de la seguridad que se debe tener al momento de realizar la prueba. Es responsabilidad del usuario de este modo operativo establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso. (Manual de ensayo de materiales, 2016)

Las partículas planas y alargadas son definidas respectivamente, como aquellas partículas cuya dimensión última es menor que 0.6 veces su dimensión promedio y aquellas que son mayores 1.8 veces la dimensión promedio. Para el propósito de esta prueba, la dimensión promedio se define como el tamaño medio entre las dos aberturas 1" a 3/4", 3/4" a 1/2", 1/2" a 3/8", etc. entre las que los agregados son retenidos al ser tamizados.

Después de haber sido cribados por la malla de abertura cuadrada y de dos mallas respectivamente, las partículas planas y alargadas se separan usando como patrón los aparatos que se muestran, las partículas planas pueden ser separadas rápidamente pasándolas por cribas con ranuras, pero en este caso, se necesita un tipo de criba para cada tamaño. El porcentaje por peso de las partículas planas y alargadas se le designa con el nombre de índice de aplanamiento e índice de alargamiento. (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)



La forma de la partícula de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación; así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, generalmente, con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre por trituración. Este método describe la determinación del porcentaje, en peso, de una muestra de agregado grueso que presenta una, dos o más caras fracturadas.

Una cara será considerada “cara fracturada” (cara angular, lisa o superficie fracturada de una partícula de agregado formada por trituración, otros medios artificiales o por la naturaleza), solamente si ésta tiene un área mínima proyectada tan grande como un cuarto de la máxima área proyectada (máxima área de la sección transversal) de la partícula y la cara tiene aristas bien definidas; esto excluye las pequeñas irregularidades. Una partícula de agregado es fracturada si tiene el número mínimo de caras fracturadas especificadas (usualmente uno o dos). (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

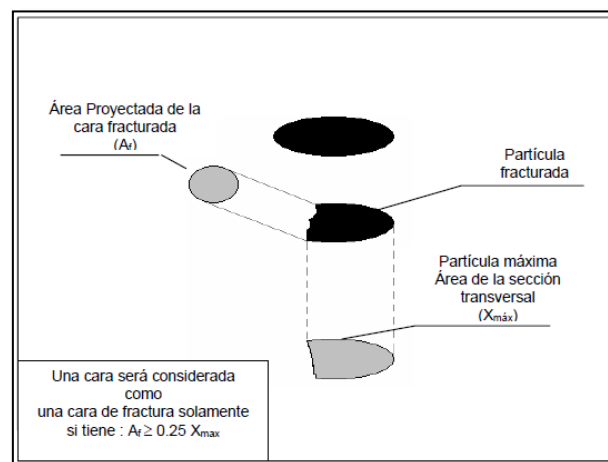


Figura 13: Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada

Fuente: (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)



Figura 14: Partículas fracturadas (bordes agudos, superficies alisadas)

Fuente: (Manual de ensayo de materiales, 2016)



Figura 15: Partículas fracturadas (bordes redondeados, superficie rugosa)

Fuente: (Manual de ensayo de materiales, 2016)

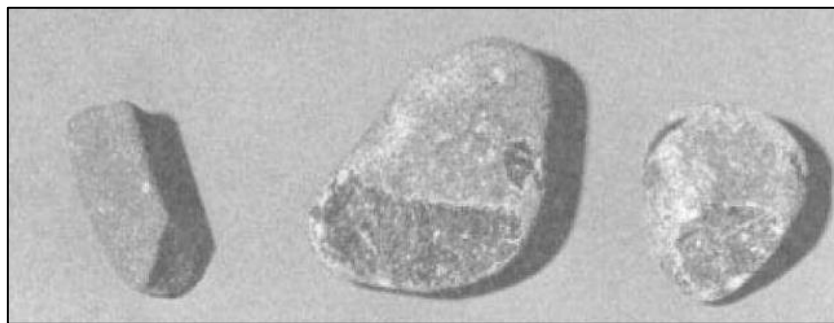


Figura 16: Partículas fracturadas (centro) flanqueadas por dos partículas no fracturadas (solo astillada)

Fuente: (Manual de ensayo de materiales, 2016)

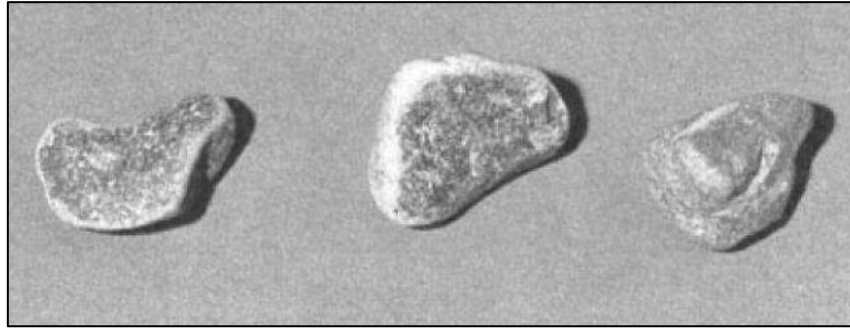


Figura 17: Partículas no fracturadas (bordes redondeados, superficies alisadas)

Fuente: (Manual de ensayo de materiales, 2016)

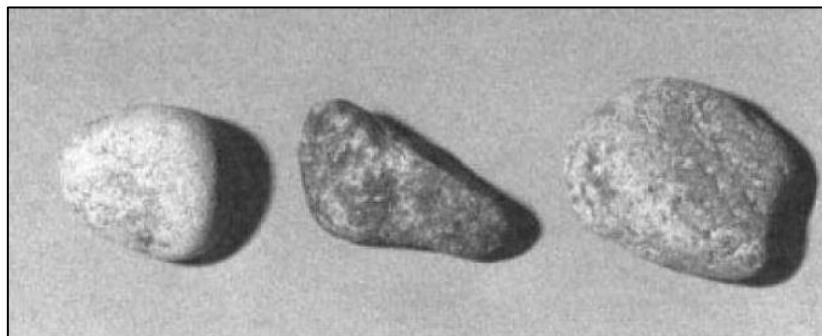


Figura 18: Partículas no fracturadas (partículas redondeadas, superficies alisadas)

Fuente: (Manual de ensayo de materiales, 2016)

2.2.8.5. Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos MTC 206

Establece 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. Este modo operativo no es aplicable para agregados ligeros.

Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción. (Manual de ensayo de materiales, 2016)



Usualmente se determina el peso específico de los áridos por dos razones:

- Para permitir el cálculo de los huecos de las mezclas asfálticas compactadas.
- Para corregir las cantidades de áridos empleados en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico varía apreciablemente.

Hay tres tipos ampliamente usados de peso específico de los áridos:

- Peso específico aparente.
- Peso específico aparente con áridos saturados.
- Peso específico efectivo.

2.2.8.5.1. Cálculos

- Peso Específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{A}{(B - C)} * 100$$

- Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)

$$PeSSS = \frac{B}{(B - C)} * 100$$

- Peso específico aparente (Pea)

$$Pea = \frac{A}{(A - C)} * 100$$

- Absorción (Ab)

$$Pb (\%) = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;
- B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;
- C = Peso en el agua de la muestra saturada.

(Institute, the asphalt; S.A., Productos asfálticos, 1962)

2.2.8.6. Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio MTC E 209.

Es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.



El ensayo se realiza exponiendo una muestra de agregado a ciclos alternativos de baño de inmersión en una solución de sulfato de sodio o magnesio y secado en horno. Una inmersión y un secado se consideran un ciclo de durabilidad. Durante la fase de secado, las sales precipitan en los vacíos del agregado. En la reinmersión las sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expansión internas que simulan las fuerzas de expansión del agua congelada. El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida de peso sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de 10 a 20% para cinco ciclos de inmersión-secado. (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

El ensayo de resistencia a los sulfatos da una indicación de la resistencia de los áridos finos y gruesos a los agentes atmosféricos. El ensayo se realiza con áridos que no han dado buen resultado durante su empleo. Mide la resistencia de los áridos a la disgregación por soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio.

El ensayo se hace sumergiendo recipientes con fracciones de tamaños clasificados de muestras de áridos en una solución saturada de sulfato de sodio o de magnesio. Los recipientes están contruidos de tal forma que permiten la libre entrada y salida de la solución en la masa de la muestra sin pérdida de áridos. Después de la inmersión se secan las muestras en estufa. Tras un número determinado de ciclos de inmersión y secado se determina por tamizado el porcentaje de pérdida de peso. Basándose en la granulometría de la muestra original se determinan los porcentajes de pérdida de peso para cada fracción granulométrica. El total de estos valores es el porcentaje de pérdida resultado del ensayo. (Institute, the asphalt; S.A., Productos asfálticos, 1962)

2.2.8.7. Índice de Plasticidad del Agregado Fino

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos (véase anexos de clasificación SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.



2.2.8.7.1. Límite Líquido

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

2.2.8.7.2. Límite Plástico

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado) sin que dichas barritas se desmoronen.

2.2.8.7.3. Cálculos de Índice de Plasticidad

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

P.L. = Límite Plástico

L.L. y L.P. son números enteros

- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).
- Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

(Manual de ensayo de materiales, 2016)

2.2.8.8. Peso Específico y Absorción de Agregados Finos MTC E 205

El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y



analizadas en base al volumen. También es usado en el cálculo de vacíos en el agregado del ensayo MTC E 203.

El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción.

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

Se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en control de uniformidad de las características físicas. (Manual de ensayo de materiales, 2016)

2.2.8.8.1. Cálculos

- Peso específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{W_o}{(V - Va)} * 100$$

- Peso específico de masa saturado con superficie seca (Pesss)

$$Pesss = \frac{500}{(V - Va)} * 100$$

- Peso específico aparente (Pea)

$$Pea = \frac{W_o}{(V - Va) - (500 - W_o)} * 100$$

- Absorción (Ab)

$$Ab = \frac{500 - W_o}{W_o} * 100$$

Donde:

- Pem = Peso específico de masa
- Wo = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;
- V = Volumen del frasco en cm³
- Va = Peso en gramos o volumen en cm³ de agua añadida al frasco.



2.2.8.9. Equivalente de Arena de Agregados Finos MTC E 114

Este ensayo, desarrollado por el Departamento de Carreteras de California, indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los áridos empleados en las mezclas asfálticas para pavimentación y en los suelos empleados en capas de base. El ensayo se aplica a la fracción que pasa por el tamiz N°04. (Institute, the asphalt; S.A., Productos asfálticos, 1962)

Para determinar el porcentaje de finos en una muestra, se incorpora una medida de suelo y solución en una probeta plástica graduada que luego de ser agitada separa el recubrimiento de finos de las partículas de arena; después de un período de tiempo, se pueden leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje. (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

2.2.9. Diseño de mezclas asfálticas en caliente

2.2.9.1. Concepto

Una mezcla asfáltica en caliente consiste en la combinación uniforme de agregados con cemento asfáltico. El Concreto Asfáltico es un tipo de mezcla en caliente que cumple con estrictos requisitos de control de calidad, resultando una carpeta de alta calidad, con buena calidad de agregados y bien compactada. (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

Pueden producirse mezclas asfálticas para pavimentación con una amplia gama de combinaciones de áridos, cada una de las cuales tiene sus características peculiares y es adecuada para empleos específicos. Aparte del contenido de asfalto, las principales características de una mezcla se determinan fundamentalmente por las proporciones de:

- Áridos gruesos
- Áridos finos
- Polvo mineral – filler

La composición de los áridos puede variar desde una mezcla de textura grosera, en la que predominan los áridos gruesos, a una mezcla de textura fina, en la que predominan los áridos finos. (Institute, the asphalt; S.A., Productos asfálticos, 1962)

En una mezcla asfáltica en caliente, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físico – mecánicas de la mezcla, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado.



El método de diseño determina las proporciones apropiadas de agregado y asfalto en una mezcla. (Leon, L., 2003)

2.2.9.2. Tipos

2.2.9.2.1. Método de Diseño Marshall

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrolló un criterio de diseño e mezclas.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de diámetro. 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 los especímenes compactados.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100”) que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad. (Garnica, P.; Delgado, H.; Gomez, L., 2004)

El ensayo Marshall para mezclas asfálticas para pavimentación puede emplearse para proyecto en laboratorio y comprobación en obra de las mezclas que contienen betún asfáltico, y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de 1”. Las principales características del ensayo son el análisis densidad-huecos y los ensayos de estabilidad y fluencia sobre probetas de mezcla compactada.

Se preparan probetas de 2 1/2” (6,35 cm) de espesor y 4” (10 cm) de diámetro, mediante procedimientos especificados, compactándolas por impacto. Se determinan la densidad y huecos de la probeta compactada, que a continuación se calienta a 60°C para la realización de los ensayos Marshall de estabilidad y fluencia. (Institute, the asphalt; S.A., Productos asfálticos, 1962)

2.2.10. Propiedades físico – mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente

Los valores de estabilidad Marshall y flujo junto con la densidad, vacíos de aire de la mezcla total, vacíos en el agregado mineral o simplemente vacíos o ambos, llenados con asfalto; son empleados para el diseño de mezclas en laboratorio, así como para la evaluación de mezclas asfálticas. Así también la estabilidad y flujo Marshall pueden ser empleados para monitorear los procesos de producción de mezclas bituminosas en planta. También pueden ser empleados como referencia para evaluar diferentes mezclas y los efectos de acondicionamientos tales como con agua. (Manual de ensayo de materiales, 2016)

2.2.10.1. Propiedades físicas - Parámetros Volumétricos de Mezclas Compactadas

Es necesario entender las definiciones y procedimientos analíticos para la determinación de estas propiedades, de tal manera que seamos capaces de seleccionar adecuadamente el diseño de mezclas. Estos conceptos se aplican tanto a mezclas compactadas como a especímenes no disturbados extraídos de campo.

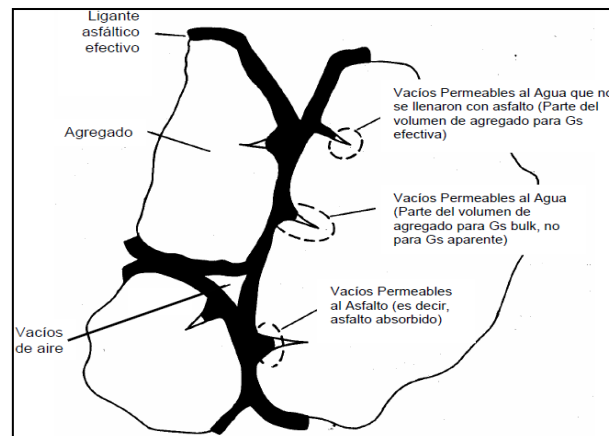


Figura 19: Ilustración de gravedades específicas bulk, efectiva y aparente; vacíos de aire; y contenido de asfalto efectivo en mezclas compactadas

Fuente: (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

2.2.10.1.1. Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Es el volumen ocupado por el asfalto efectivo y los vacíos atrapados entre los agregados recubiertos, se expresa como un porcentaje del volumen total de la muestra. (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)



2.2.10.1.2. Asfalto efectivo (Pbe)

Es el contenido de asfalto total de la mezcla menos la porción de asfalto que se pierde por absorción dentro de la partícula de agregado. (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

2.2.10.1.3. Vacíos de Aire (Va)

El porcentaje de vacíos, de mezclas bituminosas es usado como uno de los criterios tanto en los métodos de diseño, como en la evaluación de la compactación alcanzada en proyectos de pavimentos asfálticos. (Manual de ensayo de materiales, 2016)

Es el volumen de aire atrapado, entre las partículas de agregado recubierto por asfalto, luego de la compactación. (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

2.2.10.1.4. Vacíos Llenos con Asfalto (VFA)

Es el volumen ocupado por el asfalto efectivo o el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA, ocupado por asfalto.

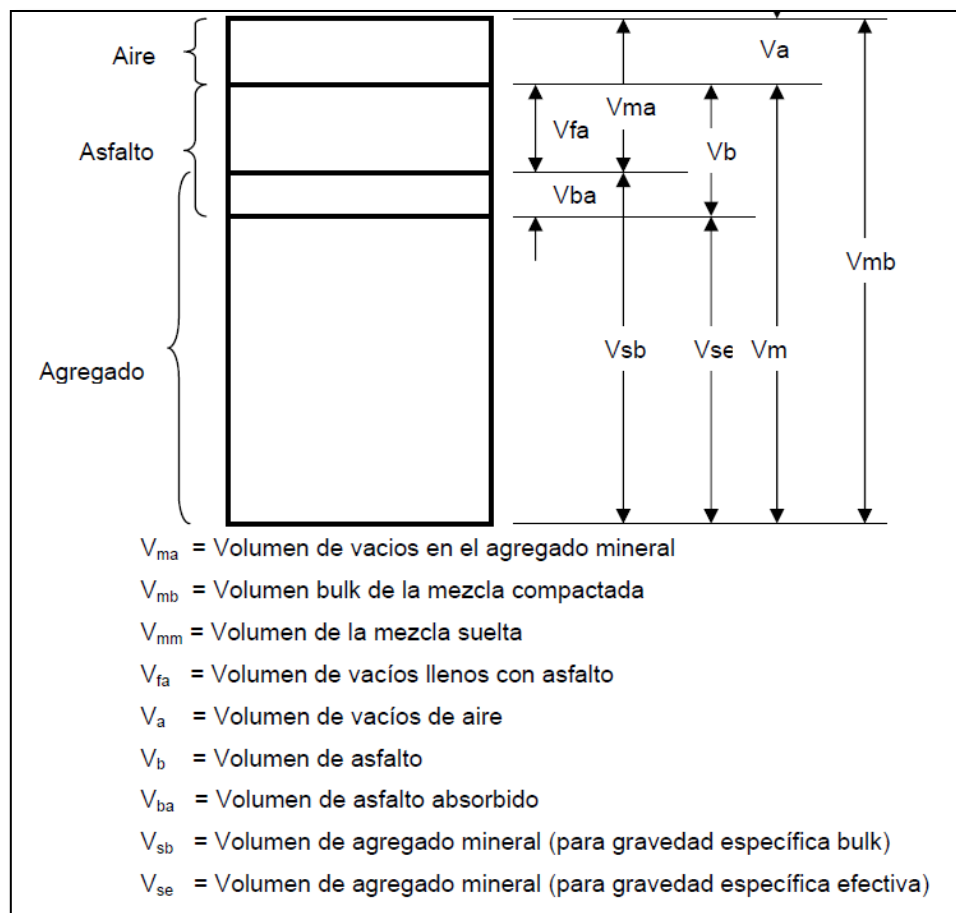


Figura 20: Representación de volúmenes en especímenes de mezclas compactadas

Fuente: (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)



2.2.10.1.5. Gravedad Específica

La gravedad específica de un agregado es útil para determinar la relación peso-volumen del agregado compactado y así calcular el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas en caliente compactadas. Por definición, la gravedad específica de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23°C (73.4F). La ecuación usada es:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen} * \text{Peso específico del agua}}$$

Cuando se trabaja en el SI, el peso específico del agua es 1.0gr/cm³, convirtiendo la ecuación de gravedad específica en:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de las mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados:

- Gravedad Específica Seca Aparente
- Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca)
- Saturada Superficialmente Seca Bulk.
- Gravedad Específica Efectiva

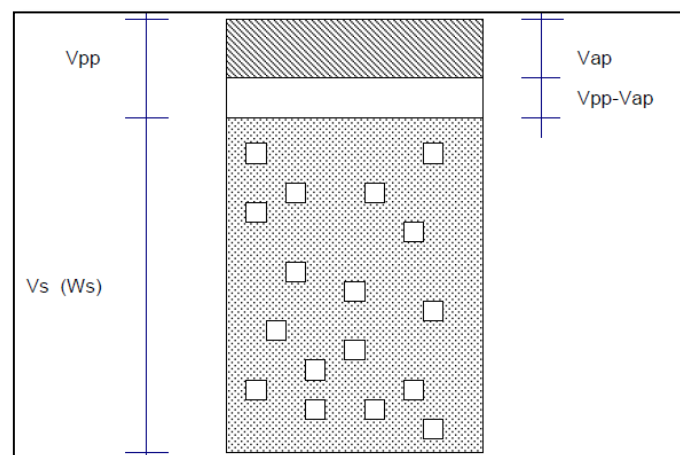


Figura 21: Esquema de relaciones entre las diferentes gravedades específicas de una partícula de agregado

Fuente: (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)



Donde:

- V_s : Volumen del agregado seco incluyendo los vacíos impermeables
- V_{pp} : Volumen de poros permeables al agua
- V_{ap} : Volumen de poros que absorbieron asfalto
- $V_{pp}-V_{ap}$: Volumen de poros permeables al agua menos los poros que absorbieron asfalto
- W_s : Peso de agregado secado al horno

(Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

a. Gravedad Específica Seca Aparente

La gravedad específica seca aparente incluye solamente el volumen de las partículas de agregado más los poros interiores que no han sido llenados con agua después de 24 horas de inmersión.

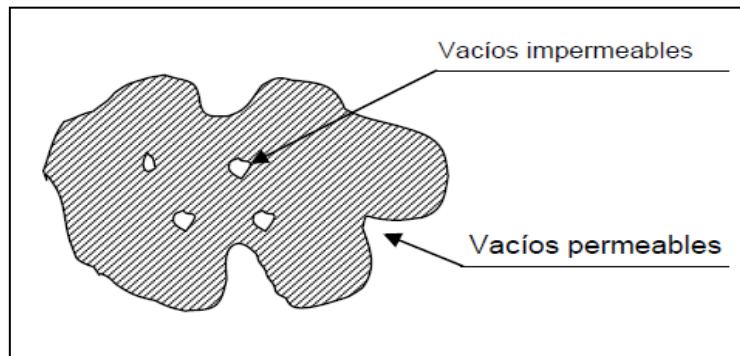


Figura 22: Esquema del agregado para gravedad específica seca aparente

Fuente: (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

$$\text{Gravedad específica seca aparente} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado}}$$

$$\text{Gravedad específica seca aparente} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado}}$$

b. Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca)

Incluye volumen total de las partículas de agregados, así como el volumen de poros llenos con agua luego de 24 horas de inmersión.

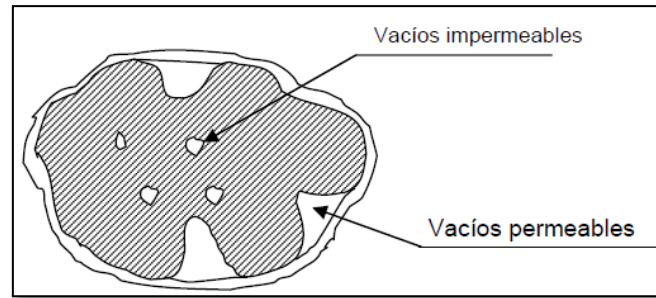


Figura 23: Esquema del agregado para gravedad específica seca bulk

Fuente: (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

$$\text{Gravedad específica seca bulk} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado más los vacíos permeables}}$$

$$\text{Gravedad específica seca bulk} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp})\gamma_w}$$

c. Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk

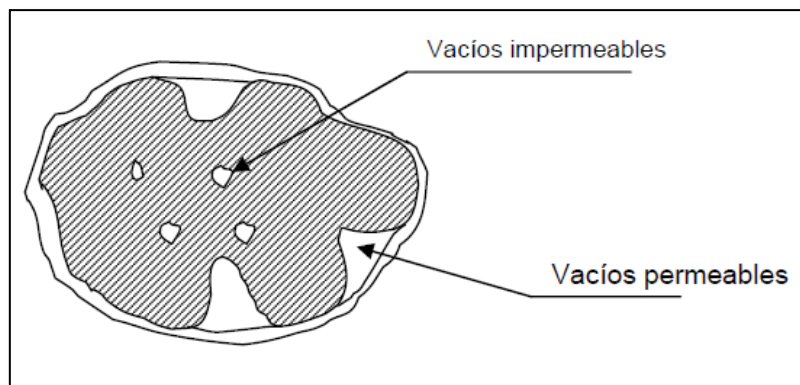


Figura 24: Esquema del agregado para gravedad específica saturada superficialmente seca bulk

Fuente: (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

$$\text{Grav. Esp. Saturado S. S. S. Bulk} = \frac{\text{Peso del agregado saturado superficialmente seco}}{\text{Volumen del agregado más los vacíos permeables}}$$

$$\text{Grav. Esp. Saturado S. S. S. Bulk} = G_{sssb} = \frac{W_{sss}}{(V_s + V_{pp})\gamma_w}$$

Donde:

- WSSS: Peso del Suelo Saturado Superficialmente Seco



d. Gravedad específica efectiva

Cuando se basa en la gravedad específica máxima de una mezcla de pavimento, G_{mm} , la gravedad específica efectiva del agregado, G_{se} , incluye todos los espacios de vacíos en las partículas del agregado, excepto aquellos que absorben el asfalto. G_{se} se determina usando:

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

Donde:

- G_{se} = gravedad específica efectiva del agregado
- G_{mm} = gravedad específica máxima (ASTM D 2041/AASHTO T 209) de mezcla de pavimento (sin vacíos de aire)
- P_{mm} = porcentaje de masa del total de la mezcla suelta = 100
- P_b = contenido de asfalto con el cual ASTM D 2041/AASHTO T 209 desarrolló el ensayo; el porcentaje por el total de la masa de la mezcla
- G_b = gravedad específica del asfalto

(Garnica, P.; Delgado, H.; Gomez, L., 2004)

2.2.10.2. Propiedades Mecánicas

La estabilidad y flujo Marshall son características de las mezclas bituminosas determinadas a partir de especímenes compactados de una geometría específica y en una manera prescrita. La estabilidad Marshall es la máxima resistencia a la deformación a una razón constante de carga. La magnitud de la estabilidad Marshall varía con el tipo y gradación del agregado y grado del bitumen empleado, así como su cantidad. Varias agencias establecen criterios para los valores de la estabilidad Marshall. El flujo Marshall es una medida de la deformación de las mezclas bituminosas determinado durante el ensayo de estabilidad. No existe un valor ideal, pero hay límites aceptables. Si el flujo en el contenido óptimo de asfalto sobrepasa el límite superior, la mezcla se considera demasiado plástica o inestable, y si está bajo el límite inferior esta se considera demasiado rígida. (Manual de ensayo de materiales, 2016)



2.2.10.2.1. Estabilidad y Flujo Marshall

Después de que la gravedad específica se ha determinado, se desarrolla la prueba de estabilidad y flujo, que consiste en sumergir el espécimen en un baño María a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. ($140^{\circ}\text{F} \pm 1.8^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba.

Con el equipo de prueba listo, se removerá el espécimen de prueba del baño María y cuidadosamente se secará la superficie. Colocándolo y centrándolo en la mordaza inferior, se procederá a colocar la mordaza superior y se centrará completamente en el aparato de carga.

Posteriormente se aplica la carga de prueba al espécimen a una deformación constante de 51mm (5") por minuto, hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse como el valor de estabilidad Marshall.

Mientras que la prueba de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir habrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0.25 mm (1/100 ") será el valor del flujo Marshall. (Garnica, P.; Delgado, H.; Gomez, L., 2004)

Se preparan probetas de 2 1/2" (6,35 cm) de espesor y 4" (10 cm) de diámetro, mediante procedimientos especificados, compactándolas por impacto. Se determinan la densidad y huecos de la probeta compactada, que a continuación se calienta a 60°C para la realización de los ensayos Marshall de estabilidad y fluencia. La probeta se coloca entre unas mordazas especiales y se carga imponiéndole una deformación de 5 cm-min. La carga máxima registrada durante el ensayo, en libras, se designa como estabilidad Marshall de la probeta. La deformación producida desde el principio de la aplicación de la carga hasta que ésta ha alcanzado su valor máximo es la fluencia de la probeta, que suele expresarse en centésimas de pulgada. Se prepara una serie de probetas con contenidos de asfalto variables por encima y por debajo del óptimo estimado, ensayándolas por el procedimiento que acabamos de describir. Usualmente se preparan tres probetas para cada contenido de asfalto.

Los datos así obtenidos se emplean para establecer el contenido de asfalto óptimo de la mezcla y para determinar algunas de sus características físicas. (Institute, the asphalt; S.A., Productos asfálticos, 1962)



Figura 25: Máquina de estabilidad Marshall con anillo de carga

Fuente: (Minaya, S.; Ordonez, A., 2001)

2.2.11. Vidrio

El vidrio es un material amorfo producido por la fusión de sílice y aditivos a muy altas temperaturas. Al enfriar se convierte en un material duro y brillante sin estructura de grano. Igualmente, remarcable es la disponibilidad y bajo costo de las materias primas usadas para producirlo, especialmente su componente más importante: la sílice (que se encuentra en la arena). (Pearson Carlos, S/A)

Los componentes principales del vidrio son productos que se encuentran fácilmente en la naturaleza: sílice, cal y carbonato de sodio.

El vidrio es una materia amorfa: esto quiere decir que no tiene una estructura cristalina, sino que las partículas que lo forman están ordenadas al azar (desordenadas), muy similar a las de un líquido. Su estado concreto es líquido muy viscoso, llamado “vítreo”, a más temperatura más viscoso, hasta llegar a sólido en frío. (Llull Universitat Ramon, 2016)

2.2.11.1. Reciclaje

El reciclaje del cristal comporta ciertos beneficios ambientales:

- Disminución del volumen de residuos



- Disminución de la contaminación atmosférica en un 20% y de las aguas en un 50%
- Ahorro de recursos naturales.
- El cristal es 100% reciclable y mantiene el 100% de las cualidades después de un proceso de fusión- enfriamiento.

(Pearson Carlos, S/A)

2.2.11.2. Trituración

El vidrio es un material totalmente reciclable y no hay límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado. Al reciclarlo no se pierden las propiedades del material y se ahorra una cantidad de energía de alrededor del 26.6 % con respecto al proceso de fabricación de vidrio nuevo.

La trituración del vidrio se realiza mediante una comba dentro de un cilindro y seguidamente se introducirá los trozos de vidrio en la máquina de los ángeles, seguidamente se usará el tamiz N°4 que separa a los agregados gruesos de los finos, como indica las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM)



Capítulo III: Metodología

3.1. Metodología de la Investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Es de tipo Cuantitativo, debido a que, según Hernández, S. et. Al, (2010), “usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis.

Por otra parte, es una investigación cuantitativa, ya que planteamos un problema de estudio delimitado y concreto, se considera lo investigado anteriormente y se construye un marco teórico del cual se deriva una o varias hipótesis y las somete a pruebas mediante el empleo de los diseños de investigación apropiados; la recolección de datos se fundamenta en la medición y se representa mediante números (cantidades) los que se deben analizar a través de métodos estadísticos.

3.1.2. Nivel de la investigación

La presente investigación según Hernández, S. et. Al, (2010), es de nivel descriptivo con alcance correlacional, se explica la relación entre variables y se cuantifican relaciones entre variables.

Este tipo de estudio tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular.

Los estudios correlacionales, al evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, miden cada una de ellas (presuntamente relacionadas) y después, cuantifican y analizan la vinculación. Tales relaciones las sustentamos en las hipótesis sometidas a prueba.

De igual manera la presente investigación es de nivel descriptivo, ya que, según Hernández, S. et. Al, (2010), los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.



3.1.3. Método de investigación

Para el desarrollo de la investigación se aplica el método Hipotético – Deductivo, debido a que se plantean diversas hipótesis las cuales se afirmarán si son verídicas o falsas mediante relaciones y descripciones de la realidad. (Hernández, 2010)

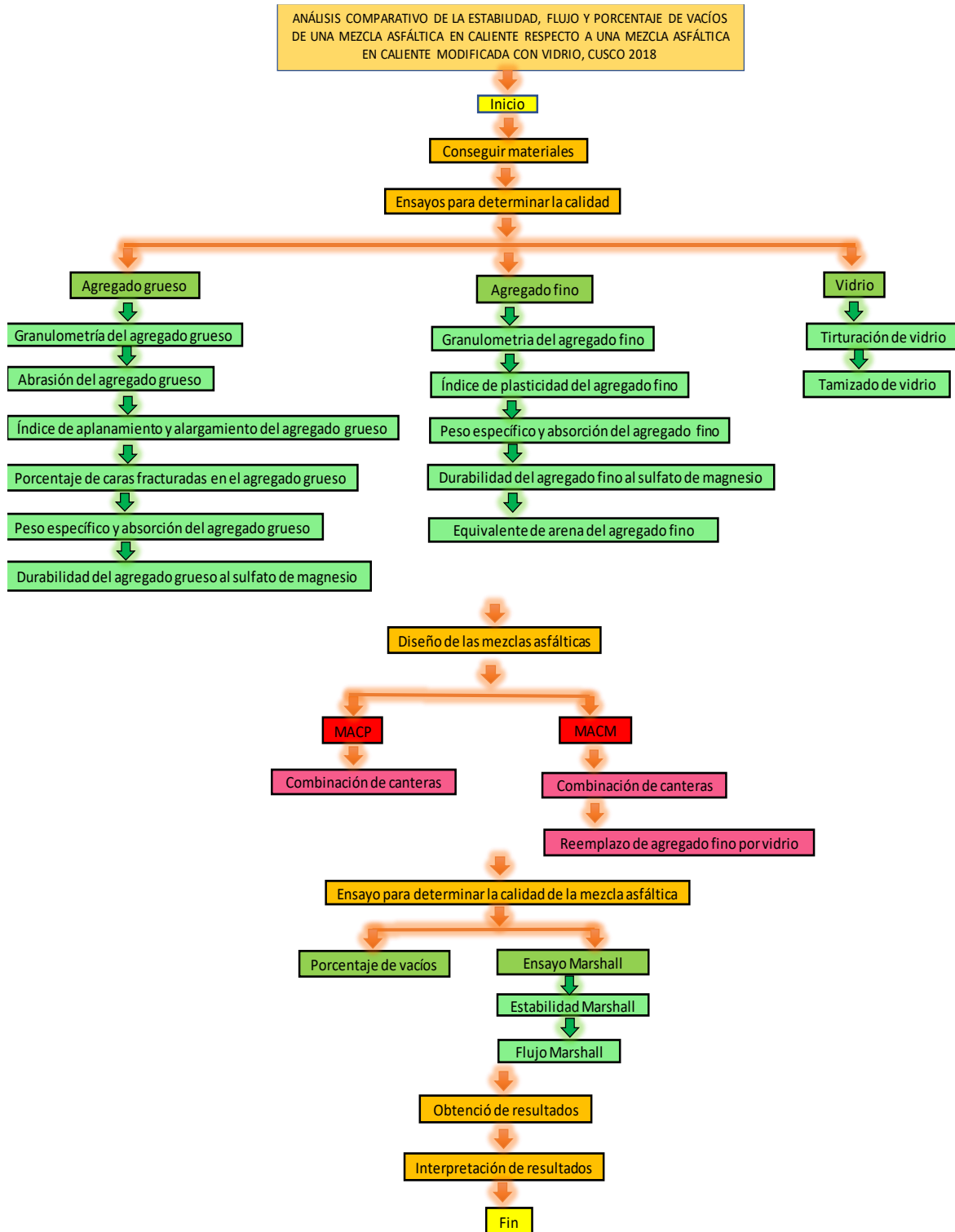
3.2. Diseño de la Investigación

3.2.1. Diseño metodológico

Se considera la investigación como Cuasiexperimento debido a que los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están formados antes del experimento. (Hernández, 2010)



3.2.2. Diseño de Ingeniería





3.2.3. Población

3.2.3.1. Descripción de la población

La población a estudiar consta de especímenes de Mezcla Asfáltica en Caliente Patrón (MACP) conformados por:

- Cemento asfáltico PEN 85 – 100 proporcionado por el Gobierno Regional Cusco.
- Agregado grueso proveniente de Morro Blanco - Pisac con un TM de 3/4” proporcionado por la Planta de Asfalto del Gobierno Regional Cusco.
- Arena natural proveniente de Morro Blanco - Pisac proporcionado por la Planta de Asfalto del Gobierno Regional Cusco.
- Arena triturado proveniente de Morro Blanco - Pisac proporcionado por la Planta de Asfalto del Gobierno Regional Cusco.
- Cemento Portland Tipo 1P

Y de especímenes de Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada (MACM) conformados por:

- MACP y 5% de vidrio reciclado triturado
- MACP y 8% de vidrio reciclado triturado
- MACP y 10% de vidrio reciclado triturado
- MACP y 12% de vidrio reciclado triturado
- MACP y 15% de vidrio reciclado triturado

Estos especímenes tendrán la siguiente forma:

- Forma cilíndrica
- Diámetro igual a 2 ½ “
- Altura igual a 4”
- La textura del espécimen será lisa

3.2.3.2. Cuantificación de la población

La población es finita y consta de 120 especímenes, debido a que Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG - 2013, indican que, como mínimo se deben realizar 3 especímenes por ensayo.

La evaluación consta de 5 especímenes para la mezcla asfáltica patrón.



La evaluación consta de 7 especímenes por cada ensayo a realizar para las mezclas asfálticas modificadas con vidrio, para un resultado más preciso.

Tabla 15: *Cuantificación de la población*

Evaluación de especímenes de diseño							
Ensayos	Patrón	Sustitución de vidrio reciclado triturado en el AF					Total, por ensayo
		5%	8%	10%	12%	15%	
Flujo	5	7	7	7	7	7	40
Estabilidad	5	7	7	7	7	7	40
Porcentaje de vacíos	5	7	7	7	7	7	40
						Total de especímenes	120

3.2.4. Muestra

3.2.4.1. Descripción de la muestra

La muestra coincidirá con la población, debido a que se evaluarán los 120 especímenes, es decir, la muestra es de tipo censal y está conformada por:

Especímenes de Mezcla Asfáltica en Caliente Patrón (MACP) conformados por:

- Cemento asfáltico PEN 85 - 100 proporcionado por el Gobierno Regional Cusco.
- Agregado grueso proveniente de Morro Blanco - Pisac con un TM de 3/4" proporcionado por el Gobierno Regional Cusco.
- Arena natural proveniente de Morro Blanco - Pisac proporcionado por el Gobierno Regional Cusco.
- Arena triturado proveniente de Morro Blanco - Pisac proporcionado por el Gobierno Regional Cusco.
- Cemento Portland Tipo 1P

Y de especímenes de Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada (MACM) conformados por:

- MACP y 5% de vidrio reciclado triturado.
- MACP y 8% de vidrio reciclado triturado.
- MACP y 10% de vidrio reciclado triturado.



- MACP y 12% de vidrio reciclado triturado.
- MACP y 15% de vidrio reciclado triturado.

Estos especímenes tendrán la siguiente forma:

- Forma cilíndrica
- Diámetro igual a 2 ½ “
- Altura igual a 4”
- La textura del espécimen será lisa

3.2.4.2. Cuantificación de la muestra

Debido a que es de tipo censal, nuestra muestra coincidirá con la población, lo que significa que se evaluarán los 120 especímenes.

Tabla 16: *Cuantificación de la muestra*

Evaluación de especímenes de diseño							
Ensayos	Patrón	Sustitución de vidrio reciclado triturado en el AF					Total, por ensayo
		5%	8%	10%	12%	15%	
Flujo	5	7	7	7	7	7	40
Estabilidad	5	7	7	7	7	7	40
Porcentaje de vacíos	5	7	7	7	7	7	40
Total, de especímenes							120

3.2.4.3. Método de muestreo

No probabilístico o dirigido: La elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. (Hernandez, R. Fernandez, C. Baptista, P., 2010)

Se adoptará este método debido a que no habrá ninguna selección al azar o probabilística para la muestra, sino, que se evaluarán todos los especímenes de diseño

3.2.4.4. Criterios de evaluación de muestra

- Especímenes de forma cilíndrica
- Especímenes de diámetro igual a 2 ½ “



- Especímenes de altura igual a 4"
- Especímenes de textura lisa
- Especímenes sin deformaciones

3.2.5. Criterios de inclusión

Se incluirá en esta evaluación aquellos especímenes que, para que sean aptos de ser evaluados, cumplan lo siguiente:

- Especímenes de mezcla asfáltica elaborada en caliente
- Especímenes elaborados con cemento asfáltico PEN 85 - 100 proporcionado por el Gobierno Regional Cusco.
- Especímenes elaborados agregado grueso proveniente de Morro Blanco - Pisac con un TM de 3/4" proporcionado por el Gobierno Regional Cusco.
- Especímenes elaborados arena natural proveniente de Morro Blanco - Pisac proporcionado por el Gobierno Regional Cusco.
- Especímenes elaborados arena triturada proveniente de Morro Blanco - Pisac proporcionado por el Gobierno Regional Cusco.
- Especímenes elaborados con vidrio reciclado triturado en 5%
- Especímenes elaborados con vidrio reciclado triturado en 8%
- Especímenes elaborados con vidrio reciclado triturado en 10%
- Especímenes elaborados con vidrio reciclado triturado en 12%
- Especímenes elaborados con vidrio reciclado triturado en 15%
- Especímenes de 2 ½" de diámetro
- Especímenes de 4" de altura
- Especímen de textura lisa
- Especímen de forma cilíndrica



3.3. Instrumentos

3.3.1. Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos

Tabla 17: *Instrumento metodológico para granulometría del agregado grueso.*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO MTC E 204						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA:						
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.) (B)				
UBICACIÓN:	PISAC					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO MTC E 204						
Malla		Peso ret (gr)	Peso ret corregido (gr)	% Peso Ret (E.)	% Peso Acumulado	% Que pasa
Tamiz	mm.	A	D=A+(B-C)/3	D/C	F=E1+E2+...	100%-F
3/4"	19.05					
1/2"	12.70					
3/8"	9.53					
N° 4	4.75					
TOTAL (C.)						
T.M.		3/4"				
T.M.N.		1/2"				
GRÁFICO						
CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO GRUESO						



Tabla 18: *Instrumento metodológico para granulometría del agregado fino*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO MTC E 204						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA:						
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)				
UBICACIÓN:	PISAC					
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO						
Malla		Peso ret (gr)	Peso ret corregido (gr)	% Peso Ret (E.)	% Peso Acumulado	% Que pasa
Tamiz	mm.	A	D=A+(B-C)/3	D/C	F=E1+E2+...	100%-F
Nº 4	4.75					
Nº 10	2.00					
Nº 40	0.43					
Nº 100	0.15					
Nº 200	0.08					
FONDO	-					
TOTAL						
DIFERENCIA DE PESOS MAX. 0.5%						
GRÁFICO						
CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA						



Tabla 19: Instrumento metodológico para ensayo de abrasión del agregado grueso

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO MTC E 207				
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"			
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY			
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
FECHA:				
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)		
UBICACIÓN:	PISAC			
ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
Que pasa		Retenido sobre la malla		Gradación
Tamiz	mm.	Tamiz	mm.	B
1"	25.00	3/4"	19.05	
3/4"	19.05	1/2"	12.70	
1/2"	12.70	3/8"	9.53	
3/8"	9.53	N° 4	4.75	
TOTAL (A) B1+B2+...				
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ N°10 (C.)				
N° DE ESFERAS				11
N° DE REVOLUCIONES				500
TIEMPO DE ROTACION				15 min
PESO DEL MATERIAL DESGASTADO (D=A-C)				
RESULTADO DE DESGASTE				
% DE ABRASION - ENSAYO				(%)
REQUERIMIENTO				
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS			35 % max.	(%)
EG. 2013			35 % max.	(%)
OBSERVACION				



Tabla 20: Instrumento metodológico para peso específico y absorción del agregado grueso

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
PESO ESPECIFICO Y ABRSORCION DEL AGREGADO GRUESO MTC E 206			
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"		
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY		
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FECHA:			
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)	
UBICACIÓN:	PISAC		
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
Símbolo	Descripcion	Unidad	Valores
A	Peso de la muestra seca en el aire	gr.	
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	
C	Peso en el agua de la muestra saturada	gr.	
$Pem (A/(B-C))$	Peso específico de la masa	gr/cm ³	
$PeSSS (B/(B-C))$	Peso específico saturado superficialmente seco	gr/cm ³	
$Pea(A/(A-C))$	Peso específico aparente	gr/cm ³	
$Ab (((B-A)/A)*100)$	Absorción	%	
RESULTADO DE DESGASTE			
PESO ESPECIFICO DE LA MASA			gr/cm ³
ABSORCION			(%)
REQUERIMIENTO			
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS		Según Diseño	(%)
EG. 2013		1.00 % max.	(%)
OBSERVACION			



Tabla 21. *Instrumento metodológico para peso específico y absorción del agregado fino*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
PESO ESPECIFICO Y ABRSORCION DEL AGREGADO FINO MTC E 205			
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"		
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON		
	VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY		
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FECHA:			
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)	
UBICACIÓN:	PISAC		
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
Símbolo	Descripción	Unidad	Valores
A	Peso en el aire de la muestra seca	gr	
B	Peso del picnómetro con agua	gr	
C	Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración	gr	
D	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr	
$Pem (A/(B+D-C))$	Peso específico de la masa	gr/cm ³	
$PeSSS (D/(B+D-C))$	Peso específico saturado superficialmente seco	gr/cm ³	
$Pea (A/(B+A-C))$	Peso específico aparente	gr/cm ³	
$Ab (((D-A)/A)*100)$	Absorción	%	
RESULTADO DE DESGASTE			
PESO ESPECIFICO DE LA MASA			gr/cm ³
ABSORCION			(%)
REQUERIMIENTO			
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS		Según Diseño	(%)
EG. 2013		0.5% max.	(%)
OBSERVACION			



Tabla 22: *Instrumento metodológico para el ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento del agregado grueso*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA						
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DEL AGREGADO GRUESO MTC E 221							
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"						
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY						
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
FECHA:							
CANTERA:	MORRO BLANCO			MUESTRA (gr.)			
UBICACIÓN:	PISAC						
INDICE DE ALARGAMIENTO							
Tamiz		Peso	Porcentaje retenido	PARTICULAS ALARGADAS		Promedio	
Pasa	Retenido			Peso	Porcentaje por malla		
		A	$D = (A/C) * 100$	B	$F = (B/A) * 100$	$G = F * D$	
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"						
3/8"	1/4"						
1/4"	N°4						
	TOTAL (C)				Rpt: $H1 = (G1 + G2 \dots) / C2$		
INDICE DE APLANAMIENTO							
Tamiz		Peso	Porcentaje retenido	PARTICULAS ALARGADAS		Promedio	
Pasa	Retenido			Peso	Porcentaje por malla		
		A	$D = (A/C) * 100$	B	$F = (B/A) * 100$	$G = F * D$	
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"						
3/8"	1/4"						
1/4"	N°4						
	TOTAL (C)				Rpt: $H2 = (G1 + G2 \dots) / C2$		
RESULTADOS							
INDICE DE APLANAMIENTO				H2		H2+H1	
INDICE DE ALARGAMIENTO				H1			
REQUERIMIENTO							
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS				10		%	
EG. 2013				10		%	
OBSERVACION							



Tabla 23: *Instrumento metodológico para ensayo de porcentaje de partículas fracturadas*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO DE PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS MTC E 210						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO REICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA:						
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)				
UBICACIÓN:	PISAC	-				
CON UNA CARA FRACTURADA						
Tamiz		Peso muestra	Peso material con cara fracturada	Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje	Promedio caras fracturadas
Pasa	Retenido					
		A	B	$C = (B/A) * 100$	D	$E = C * D$
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
3/8"	N°4					
	TOTAL (C.)					
		PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURA $F1=C5/C4$				
CON DOS A MAS CARAS FRACTURADAS						
Tamiz		Peso muestra	Peso material con cara fracturada	Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje	Promedio caras fracturadas
Pasa	Retenido					
		A	B	$C = ((B/A) * 100$	D	$E = C * D$
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
3/8"	N°4					
	TOTAL (C.)					
		PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURAS $F2=C5/C4$				
RESULTADOS						
CARAS FRACTURADAS					F1/F2	
REQUERIMIENTO						
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS					90/70	
EG. 2013					90/70	
OBSERVACION						



Tabla 24: Instrumento metodológico para la determinación de la durabilidad del agregado grueso al sulfato de magnesio

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO AL SULFATO DE MAGNESIO MTC E 209						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON					
	VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE ASFALTO Y AGREGADO DEL GOBIERNO MUNICIPAL					
FECHA:						
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)				
UBICACIÓN:	PISAC					
ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO AL SULFATO DE MAGNESIO						
Tamiz	Peso retenido inicial	Peso después del ensayo	Porcentaje retenido	Pérdida de peso		Pérdida corregida (%)
				gr. $E=(A-B)$	% $F=(E/A)$	
	A	B	$D=(A/C)$			$G=D*F$
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
3/8"	1/4"					
1/4"	N°4					
				PERDIDA TOTAL (C=G1+G2+...)		
RESULTADOS						
PERDIDA TOTAL						(%)
REQUERIMIENTO						
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS					15% max.	(%)
EG. 2013					15% max.	(%)
OBSERVACION						



Tabla 25: Instrumento metodológico para la determinación de la durabilidad del agregado fino al sulfato de magnesio

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA						
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO AL SULFATO DE MAGNESIO MTC E 209							
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"						
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON						
	VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY						
LUGAR:	LABORATORIO DE ASFALTO Y AGREGADO DEL GOBIERNO MUNICIPAL						
FECHA:							
CANTERA:	MORRO BLANCO			MUESTRA (gr.)			
UBICACIÓN:	PISAC			-			
ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO - AL SULFATO DE MAGNESIO							
Tamiz		Peso retenido inicial	Peso después del ensayo	Porcentaje retenido	Pérdida de peso		Pérdida corregida (%)
		A	B	D=(A/C)	gr. E=(A-B)	% F=(E/A)	
3/8"	N°4						
	N°4						
	N°8						
	N°8						
	N°16						
	N°16						
	N°30						
	N°30						
	N°50						
					PERDIDA TOTAL (C=G1+G2+...)		
RESULTADOS							
							(%)
PERDIDA TOTAL							
REQUERIMIENTO							
							(%)
							(%)
							(%)
OBSERVACION							



Tabla 26: *Instrumento metodológico para la determinación del valor del equivalente de arena del agregado fino*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA						
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO MTC E 114							
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"						
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY						
LUGAR:	LABORATORIO DE ASFALTO Y AGREGADO DEL GOBIERNO MUNICIPAL						
FECHA:							
CANTERA:	MORRO BLANCO			MUESTRA (gr.)			
UBICACIÓN:	PISAC			-			
EQUIVALENTE DE ARENA DEL AGREGADO FINO - ARENA NATURAL / ARENA TRITURADA							
	ARENA NATURAL			ARENA TRITURADA			
Número de muestras	1	2	3	1	2	3	
Tiempo de reposo							
Tiempo de irrigación							
Tiempo de sedimentación							
Lectura arcilla							
Lectura arena							
Resultados parciales							
Promedio							
RESULTADOS							
EQUIVALENTE DE ARENA DEL AGREGADO FINO - ARENA NATURAL						(%)	
EQUIVALENTE DE ARENA DEL AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA						(%)	
REQUERIMIENTO							
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS				50% min.		(%)	
EG. 2013				70% min		(%)	
OBSERVACIÓN							



Tabla 27: Instrumento metodológico para la determinación del límite líquido del agregado fino – pasa malla N°40 y pasa malla N°200

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA						
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
ENSAYO DE DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS MTC E 110							
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"						
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY						
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
FECHA:							
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)					
UBICACIÓN:	PISAC	-					
ENSAYO DE DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS							
Número de golpes	Peso tara + agregado húmedo	Peso tara + agregado seco	Peso tara	Peso muestra húmeda	Peso muestra seca	Peso húmedo	Porcentaje de humedad
	A	B	C	D=A-C	E=B-C	F=D-E	$((F/E)*100)$
<p>Título del gráfico</p>							
RESULTADOS - LIMITE LIQUIDO "LL" (%)							
"LL"							
OBSERVACION							



Tabla 28: *Instrumento metodológico para la determinación del límite plástico del agregado fino – pasa malla N°40 y pasa malla N°200*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA						
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
ENSAYO DE DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS MTC E 111							
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"						
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY						
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
FECHA:							
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)					
UBICACIÓN:	PISAC	-					
ENSAYO DE DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS							
Número de muestra	Peso tara + agregado húmedo	Peso tara + agregado seco	Peso tara	Peso muestra húmeda	Peso muestra seca	Peso humedad	Porcentaje de humedad
	A	B	C	D=A-C	E=B-C	F=D-E	((F/E)*100)
PROMEDIO							
RESULTADOS - LIMITE PLASTICO "LP" (%)							
"LP"							
OBSERVACION							



Tabla 29: Instrumento metodológico para la granulometría del vidrio reciclado

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL VIDRIO						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO REICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA:						
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)				
UBICACIÓN:	PISAC					
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO						
Malla		Peso ret (gr)	Peso ret corregido (gr)	% Peso Ret (E.)	% Peso Acumulado	% Que pasa
Tamiz	mm.	A	D=A+(B-C)/3	D/C	F=E1+E2+..	100%-F
N° 4	4.750					
N° 10	2.000					
N° 40	0.425					
N° 100	0.150					
N° 200	0.075					
FONDO	-					
TOTAL						
DIFERENCIA DE PESOS MAX. 0.5%						
GRÁFICO						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL VIDRIO REICLADO MOLIDO						



Tabla 30: *Instrumento metodológico para determinar la granulometría de diseño producto de la combinación de los agregados*

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO									
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA									
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
		COMBINACION DE AGREGADOS									
NOMBRE DE LA TESIS:		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"									
TESISTAS:		ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY									
CANTERA:		MORRO BLANCO									
UBICACIÓN:		PISAC									
DATOS		AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA				AGREGADO FINO - ARENA NATURAL			
Abertura (mm)	Tamiz	Porcentaje retenido del agregado grueso A - G	Porcentaje retenido del agregado fino - arena triturada B - T	Porcentaje retenido del agregado fino - arena natural C - N	Porcentaje retenido de la combinación de agregados D	Porcentaje acumulado E	Porcentaje que pasa F	Especificaciones - MAC 2			
19.050	3/4"							100%	100%		
12.700	1/2"							80%	100%		
9.525	3/8"							70%	88%		
4.750	Nº 4							51%	68%		
2.000	Nº 10							38%	52%		
0.425	Nº 40							17%	28%		
0.150	Nº 100							8%	17%		
0.075	Nº 200							4%	8%		
FONDO											
TOTAL											

GRÁFICO





Tabla 31: *Instrumento metodológico para obtener la dosificación del cemento asfáltico y de los agregados minerales*

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA						
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
		DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA						
NOMBRE DE LA TESIS:		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"						
TESISTAS		ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY						
CANTERA:		MORRO BLANCO						
UBICACIÓN:		PISAC						
DATOS		AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA		AGREGADO FINO - ARENA NATURAL		
PESO DE LA MUESTRA	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%	
% AGREGADO								
% AGREGADO GRUESO								
% AGREGADO FINO								
% COMBINADO								
% FILLER								
PESO DEL FILLER TOTAL								
% DEL FILLER AGREGADO								
PESO DEL FILLER AGREGADO								
PESO DEL FILLER FALTANTE								
% DEL FILLER FALTANTE								
PESO DEL AGREGADO								
PESO DEL ASFALTO								
PESO DEL AGREGADO								
PESO DEL AREGADO GRUESO (gr)								
PESO DE LA ARENA TRITURADA (gr)								
PESO DE LA ARENA NATURAL (gr)								
PESO TOTAL								
AGREGADO GRUESO								
TAMIZ	RETENIDO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	7.0%	
3/4"	0.00%							
1/2"	0.00%							
3/8"	0.00%							
Nº 4	0.00%							
Nº 10	0.00%							
AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA								
TAMIZ	RETENIDO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	7.0%	
Nº 4	0.00%							
Nº 10	0.00%							
Nº 40	0.00%							
Nº 100	0.00%							
Nº 200	0.00%							
AGREGADO FINO - ARENA NATURAL								
TAMIZ	RETENIDO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	7.0%	
Nº 4	0.00%							
Nº 10	0.00%							
Nº 40	0.00%							
Nº 100	0.00%							
Nº 200	0.00%							



Tabla 32: Instrumento metodológico para determinar la gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO										
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA										
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL										
	DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA										
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"										
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY										
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas, ASTM D1188											
Porcentaje de Asfalto	%	4.5%					5.0%				
		Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5
Peso al aire de especimen seco	Wd (A)										
Peso al aire del especimen saturado superficialmente seco	Wssd (B)										
Peso del especimen saturado superficialmente seco sumergido	Wsumergido (C.)										
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas	Gmb (A/(B-C))										
PROMEDIO	Gmb										
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas, ASTM D1188											
Porcentaje de Asfalto	%	5.5%					6.0%				
		Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5
Peso al aire de especimen seco	Wd (A)										
Peso al aire del especimen saturado superficialmente seco	Wssd (B)										
Peso del especimen saturado superficialmente seco sumergido	Wsumergido (C.)										
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas	Gmb (A/(B-C))										
PROMEDIO	Gmb										
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas, ASTM D1188											
Porcentaje de Asfalto	%	6.5%					7.0%				
		Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5
Peso al aire de especimen seco	Wd (A)										
Peso al aire del especimen saturado superficialmente seco	Wssd (B)										
Peso del especimen saturado superficialmente seco sumergido	Wsumergido (C.)										
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas	Gmb (A/(B-C))										
PROMEDIO	Gmb										



Tabla 33: *Instrumento metodológico para determinar la gravedad específica bulk y aparente de la combinación de agregados*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO										
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA										
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL										
	DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA										
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"										
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON										
	VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY										
Gravedad Específica Bulk y Aparente de la Combinación de Agregados											
Agregados	Combinacion de Diseño	Combinacion en funcion de los Agregados	Combinacion en funcion del agregado fino	Combinacion en funcion del agregado grueso	Gravedad Especifica Bulk (Gsb)	Gravedad Especifica Aparente (Gsa)	Gravedad Especifica Bulk (Gsb) - Comb. A.F.	Gravedad Especifica Aparente (Gsa) - Comb. A.F.	Gravedad Especifica Bulk (Gsb)	Gravedad Especifica Aparente (Gsa)	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado (Gse)
A.G.											
A.F. Arena Triturada											
A.F. Arena Natural											
Cemento											

Tabla 34: *Instrumento metodológico para determinar la gravedad específica teórica máxima de la mezcla – Gmm – RICE*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
	DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA				
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"				
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON				
	VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY				
Gravedad específica teórica máxima de la mezcla, Gmm - RICE					
% Asfalto	% Agregado Combinado con cemento	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado (Gse)	Gravedad Especifica Aparente del Cemento Asfáltico PEN 85-100	Gravedad específica teórica máxima - RICE - Gmm	
4.5%					
5.0%					
5.5%					
6.0%					
6.5%					
7.0%					



Tabla 35: Instrumento metodológico para determinar el factor de corrección de estabilidad

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA							
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA ESTABILIDAD									
NOMBRE DE LA TESIS:		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"							
TESISTAS:		ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY							
LUGAR:		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							
FECHA:									
PORCENTAJE	N° MUESTRA	ALTURA 1	ALTURA 2	PROMEDIO	DIAMETRO 1	DIAMETRO 2	PROMEDIO	VOLUMEN	F.C.
		A	B	$C=(A+B)/2$	D	E	$F=(D+E)/2$	$(((\pi * D^2)/4) * A)$	
4.5%	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
5.0%	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
5.5%	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
6.0%	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
6.5%	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
7.0%	1								
	2								
	3								
	4								
	5								



Tabla 36: *Instrumento metodológico para determinar los resultados del ensayo Marshall ASTM – 1559*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA						
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
	DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"						
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON						
	VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY						
FECHA:							
ENSAYO MARSHALL ASTM D - 1559							
	Numero de Briquetas	1	2	3	4	5	PROMEDIO
1	% C.A. en Peso de la Mezcla						
2	% Agregado Grueso en peso de la Mezcla						
3	% Agregado Fino en peso de la Mezcla						
4	% Filler						
5	Peso Especifico Del Cemento Asfaltico - Aparente						
6	Peso Especifico Del Agregado Grueso - Bulk						
7	Peso Especifico Del Agregado Fino - Bulk						
8	Peso Especifico Del Cemento						
9	Gravedad Especifica Bulk (Gsb) de la combinacion de agregados						
10	Peso deL especimen en el Aire (gr.)						
11	Peso del especimen en el Agua (gr.)						
12	Peso al aire del especimen saturado superficialmente seco						
13	Peso Especifico Bulk de la Briqueta $(10)/(12-11)$						
14	Peso Especifico Maximo ASTM D - 2041						
15	Va - VTM % De Vacios $(100-(13/14)*100)$						
16	Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)$						
17	VMA $(100-((13*(100-1))/9)$						
18	% De Vacios Llenados con C.A. $100(17-15)/17$						
19	Peso Especifico Del Agregado Total $(100-1)/((100/14)-(1-5))$						
20	Asfalto Absorbido por el Agregado Total $(100*5(19-16)/19*16)$						
21	% De Asfalto Efectivo $1-((20*(2+3+4))/100)$						
22	VFA Vacios llenos con asfalto $((17-15)/17)$						
23	Flujo (mm)						
24	Estabilidad (KN.)						
25	Factor de Estabilidad						
26	Flujo (cm) $(23*0.1)$						
27	Estabilidad Corregida (KN.) $24*25$						
28	Estabilidad Corregida (Kg.) $(7*1000/9.81)$						
	Relacion Estabilidad/Flujo (kg/cm)	1700 - 4000 (EG - 2013)					
OBSERVACION							



Tabla 37: Instrumento metodológico para determinar la gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica con vidrio compactada

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO														
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA														
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL														
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE CADA ESPECIMEN COMPACTADO, CON UN CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO DE 5.6%															
NOMBRE DE LA TESIS	*ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2016*														
TESISTAS	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY														
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas, ASTM D1188															
Porcentaje de Vidrio	%	5.0%							8.0%						
		Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7
Peso al aire de especimen seco	Wd (A)														
Peso al aire del especimen saturado superficialmente seco	Wssd (B)														
Peso del especimen sumergido	Wsumergido (C)														
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas	Gmb (A/(B-C))														
PROMEDIO	Gmb														
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas, ASTM D1188															
Porcentaje de Vidrio	%	10.0%							12.0%						
		Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7
Peso al aire de especimen seco	Wd (A)														
Peso al aire del especimen saturado superficialmente seco	Wssd (B)														
Peso del especimen sumergido	Wsumergido (C)														
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas	Gmb (A/(B-C))														
PROMEDIO	Gmb														
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas, ASTM D1188															
Porcentaje de Vidrio	%	15.0%													
		Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7							
Peso al aire de especimen seco	Wd (A)														
Peso al aire del especimen saturado superficialmente seco	Wssd (B)														
Peso del especimen sumergido	Wsumergido (C)														
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas	Gmb (A/(B-C))														
PROMEDIO	Gmb														



Tabla 38: Instrumento metodológico para determinar el factor de corrección de estabilidad de los especímenes con vidrio

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA											
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
		FACTOR DE CORRECCIÓN DE ESTABILIDAD											
NOMBRE DE LA TESIS		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"											
TESISTAS		ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY											
PORCENTAJE	N°MUESTRA	ALTURA 1 (A)	ALTURA 2 (B)	ALTURA 3 (C)	ALTURA 4 (D)	PROMEDIO "P" ((A+B+C+D)/4)	DIAMETRO 1 (E)	DIAMETRO 2 (F)	DIAMETRO 1 (G)	DIAMETRO 2 (H)	PROMEDIO "Q" ((E+F+G+H)/4)	VOLUMEN (((T*Q^2)/4)*P))	F.C.
5.0%	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
8.0%	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
10.0%	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
12.0%	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
15.0%	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												

P
O
R
C
E
N
T
A
J
E

D
E

V
I
D
R
I
O



Tabla 39: *Instrumento metodológico para determinar los resultados del ensayo Marshall ASTM – 1559 de los especímenes con vidrio*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO									
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA									
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA									
NOMBRE DE LA TESIS	*ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018*									
TESISTAS	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY									
FECHA										
ENSAYO MARSHALL ASTM D - 1559										
	Número de Briquetas	1	2	3	4	5	6	7	PROMEDIO	
1	% C.A. en Peso de la Mezcla	5.6%	5.6%	5.6%	5.6%	5.6%	5.6%	5.6%	5.6%	
2	% Agregado Grueso en peso de la Mezcla									
3	% Agregado Fino en peso de la Mezcla									
4	% Filler									
5	Peso Especifico Del Cemento Asfáltico - Aparente									
6	Peso Especifico Del Agregado Grueso - Bulk									
7	Peso Especifico Del Agregado Fino - Bulk									
8	Peso Especifico Del Cemento									
9	Gravedad Especifica Bulk (Gsb) de la combinacion de agregados									
10	Peso del especimen en el Aire (gr.)									
11	Peso del especimen en el Agua (gr.)									
12	Peso al aire del especimen saturado superficialmente seco									
13	Peso Especifico Bulk de la Briqueta (10/(12-11))									
14	Peso Especifico Maximo ASTM D - 2041									
15	Va - VTM % De Vacios (1-(13/14)*100)									
16	Peso Especifico Bulk del Agregado Total (2+3)/(2/5+3/6)									
17	VMA (100*(1-((13*(1-9))/7)))									
18	% De Vacios Llenados con C.A. 100*(17-15)/17									
19	Peso Especifico Del Agregado Total (1-1)/((1/14)-(1-5))									
20	Asfalto Absorbido por el Agregado Total (100*5*(19-16)/19*16)									
21	% De Asfalto Efectivo 1-(20*(2+3))/100									
22	VFA Vacios Llenos con asfalto ((17*15)/17)									
23	Flujo (mm)									
24	Estabilidad - Máquina									
25	Estabilidad (lb) 01 FORMULA									
26	Estabilidad (Kg.)									
27	Estabilidad (KN.)									
28	Factor de Estabilidad									
29	Flujo (mm)									
30	Flujo (cm)									
31	Estabilidad Corregida (KN.)									
32	Estabilidad Corregida (Kg.)									
	Relacion Estabilidad/Flujo (kg/cm)	1700 - 4000 (EG - 2013)								
	OBSERVACION									



3.3.2. Instrumentos de Ingeniería

- Balanza
- Juego de tamices
- Cuchara Casa Grande
- Picnómetro
- Molde Cónico Metálico
- Apisonador de metal
- Bomba de Vacíos
- Horno
- Máquina de Degaste de Los Ángeles
- Carga o esferas metálicas
- Calibrador de aplanamiento
- Calibrador de alargamiento
- Canasta metálica
- Baño María
- Molde de Compactación
- Máquina compactadora
- Papel Filtrante
- Recipientes Metálicos
- Termómetro
- Espátula
- Extractor de muestra
- Equipo de Marshall de Estabilidad y Deformación
- Dial de deformación
- Dial de carga



3.4. Procedimientos de Recolección de Datos

3.4.1. Ensayo a los materiales conformantes de la mezcla asfáltica

3.4.1.1. Ensayo al agregado grueso

3.4.1.1.1. Ensayo de reducción de muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo por el método B: cuarteo para agregado grueso MTC E 103

a) Equipos

- Una pala
- Una vara de madera

b) Procedimiento

El material se consiguió de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco: agregado grueso de ½” de tamaño máximo nominal, arena tritura y arena natural.



Figura 26: Extracción de material de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco

Para llevar a cabo la reducción de la muestra, se coloca la muestra en una superficie lisa, limpia y amplia; evitando la adición de sustancias extrañas.



Figura 27: Extender el agregado en una superficie limpia



Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono; se mezcla de nuevo hasta formar un nuevo cono, repitiendo esta operación tres veces; cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del cono.

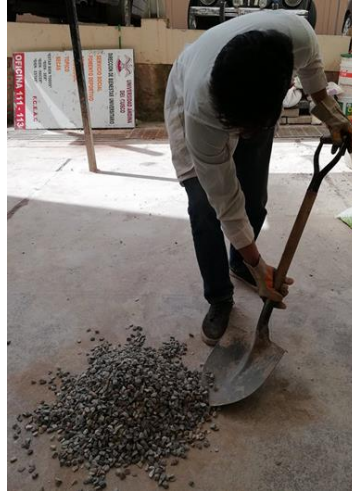


Figura 28: Mezclado del agregado grueso

Cuidadosamente se aplana y extiende la pila cónica hasta darle base circular y espesor y diámetro uniforme presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original.



Figura 29: Extendido del material con la cuchara de la pala

Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres

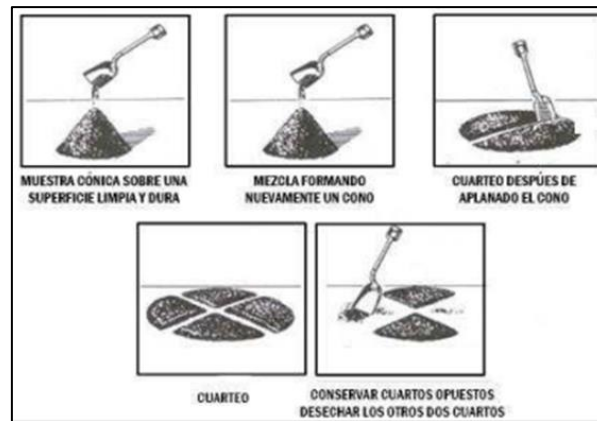


Figura 30: Cuarteo

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)



Figura 31: Cuarteo del agregado grueso



Figura 32: Uso de la brocha para separar finos



Se toman dos cuartos diagonales homogéneos y se vuelven a mezclar, se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida para cada ensayo según lo especificado en la norma del Manual de Ensayos de Materiales de Ministerio de Transportes y Comunicaciones, lo dos cuartos restantes se desechan.



Figura 33: Primer cuarteo



Figura 34: Segundo cuarteo



Figura 35: Separación de los dos cuartos homogéneos con los dos restantes



Se cuartea hasta obtener el peso indicado por cada ensayo, como dice el Manual del Ministerio de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

3.4.1.1.2. Ensayo de granulometría del agregado grueso MTC E 204

a) Equipos

- Balanza de precisión
- Serie de tamices: tamices $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, N°4
- Tamizadora mecánica
- Recipientes metálicos
- Brocha
- Escobilla metálica

b) Procedimiento

Previo un cuarteo, la cantidad de muestra inicial con la cual se trabajó fue establecida según la siguiente tabla, dada en el Manual de Ensayos del MTC:

Tabla 40: *Cantidad mínima de muestra de agregado grueso*

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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2013)

Debido a que en la presente investigación, el tamaño máximo nominal es de $\frac{1}{2}$ se recomienda tomar como mínimo 2 Kg de agregado grueso para este ensayo, en la presente investigación se tomó 3.183 Kg como muestra inicial.



Figura 36: Peso inicial de la muestra

Luego de poner la muestra, por parte para no saturar los tamices, en el juego de tamices, se lleva a cabo el tamizado en la tamizadora mecánica durante 3 minutos y luego se retira de la tamizadora con cuidado.

Luego del tamizado se separa el agregado por tamices, se toman los pesos retenidos de cada tamiz de forma cuidadosa para no generar demasiado error en función del peso inicial.



Figura 37: Granulometría del agregado grueso



c) Toma de datos

Tabla 41: Toma de datos análisis granulométrico del agregado grueso

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO MTC E 204						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUNOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA:	22/03/2018					
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.) (B)				
UBICACIÓN:	PISAC	4970				
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO						
Malla		Peso ret (gr)	Peso ret corregido (gr)	% Peso Ret (E.)	% Peso Acumulado	% Que pasa
Tamiz	mm.	A	D=A+(B-C)/3	D/C	F=E1+E2+...	100%-F
3/4"	19.05	0.00				
1/2"	12.70	1499.40				
3/8"	9.53	2532.20				
Nº 4	4.75	933.40				
TOTAL (C.)						
T.M.		3/4"				
T.M.N.		1/2"				
GRÁFICO						
CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO GRUESO						

3.4.1.1.3. Ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos MTC E 206

a) Equipos

- Balanza
- Cesta metálica
- Juego de tamices:
- Estufa

b) Procedimiento

El peso inicial para realizar el informe fue en función del tamaño máximo nominal, como muestra la siguiente tabla:

Tabla 42: *Peso mínimo de la muestra para el ensayo*

TABLA 1	
Peso mínimo de la muestra de ensayo	
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)

Luego de pesar el material se sumerge por 24 horas en agua.



Figura 38: Agregados sumergidos en agua por 24 horas

Después de las 24 horas, se saca y se seca superficialmente con una franela, y se pesa, luego se sumerge el agregado mediante la canastilla metálica y se vuelve a pesar, seguidamente se pone al horno por 24 horas y se pesa.



Figura 39: Material sumergido por 24 horas



Figura 40: Agregado secado por una franela



Figura 41: Peso superficialmente seco

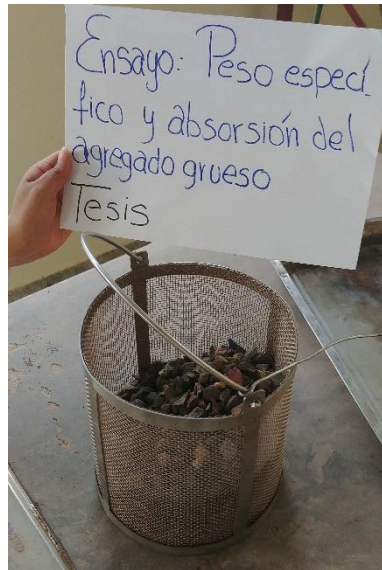


Figura 42: Agregado grueso en la canastilla



Figura 43: Canastilla metálica con agregado grueso



Figura 44: Agregado sumergido para el peso sumergido



Figura 45: Peso sumergido de los agregados

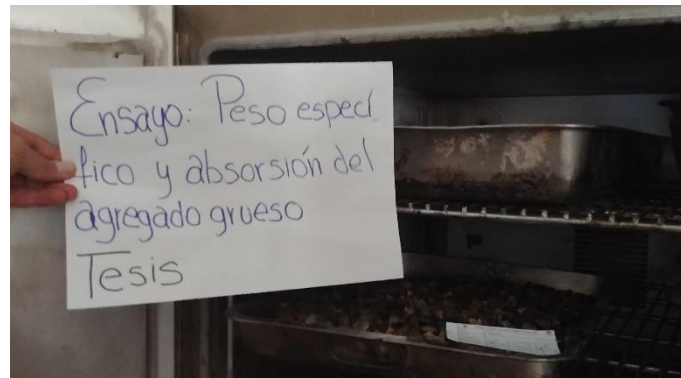


Figura 46: Agregado en el horno



Figura 47: Peso seco del agregado



c) Toma de datos

Tabla 43: Toma de datos ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
PESO ESPECIFICO Y ABRSORCION DEL AGREGADO GRUESO			
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VÍDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"		
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY		
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FECHA:	27/03/2018		
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)	
UBICACIÓN:	PISAC	-	
Peso específico y absorción del agregado grueso			
Símbolo	Descripción	Unidad	Valores
A	Peso de la muestra seca en el aire	gr.	3955.60
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	4001.50
C	Peso en el agua de la muestra saturada	gr.	2521.90
Pem (A/(B-C))	Peso específico de la masa	gr/cm ³	
PeSS (B/(B-C))	Peso específico saturado superficialmente seco	gr/cm ³	
Pea(A/(A-C))	Peso específico aparente	gr/cm ³	
Ab (((B-A)/A)*100)	Absorción	%	
RESULTADO DE DESGASTE			
PESO ESPECIFICO DE LA MASA			gr/cm ³
ABSORCION			(%)
REQUERIMIENTO			
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS		Según Diseño	(%)
EG. 2013		1.00 % max.	(%)
OBSERVACION			

3.4.1.1.4. Ensayo de abrasión del agregado grueso por medio de la máquina de los ángeles MTC E 207.

a) Equipos

- Máquina de los ángeles
- Balanza
- Juego de tamices: ¾, ½, 3/8, N°10
- Estufa
- Carga o billas de acero



b) Procedimiento

Primero se lavó el material y se secó en un horno con temperatura constante de 110°C. La cantidad de muestra inicial es de 5000 gr según la norma MTC. Se tamiza por los tamices ¾, ½ y 3/8 y en función al retenido obtenido en los diferentes tamices, se escoge el método por el cual se realizará el ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles.

Tabla 44: *Gradación de las muestras de ensayo*

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 (¾")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1 250 ±10	2 500 ±10	-.-	-.-
12,5 mm (½")	9,5 mm (3/8")	1 250 ±10	2 500 ±10	-.-	-.-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (¼")	-.-	-.-	2 500 ±10	-.-
6,3 mm (¼")	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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Según la tabla anterior, el método usado será el B, por lo cual se someterá a la maquina de los ángeles 2500 gr de agregado retenido en el tamiz ½, y 2500 retenido en el tamiz 3/8, se considerarán el número de billas de acero en función al método, para este caso fueron 11 billas de acero, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 45: *Número de esferas según el método a usarse*

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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Seguidamente se colocó el agregado y las 11 billas en la máquina de los ángeles por 15 minutos.



Figura 48: Colocación del agregado y las billas en la máquina de los Ángeles

Una vez pasado el tiempo se procedió a sacar el material de la máquina, y a lavar por la malla N°4, luego se puso al horno a una temperatura constante de 1 grados por 24 horas y se procedió a pesar



Figura 49: Lavado del agregado por el Tamiz N°10

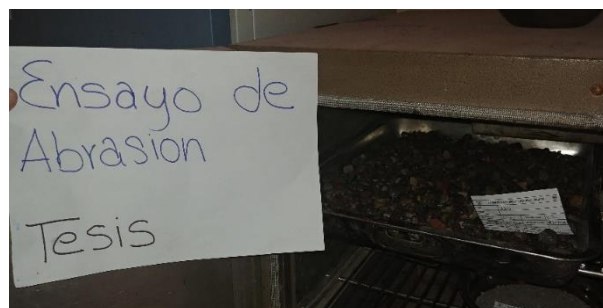


Figura 50: Muestra lavada en el horno



c) Toma de datos

Tabla 46: Toma de datos ensayo de abrasión del agregado grueso

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO MTC E 207				
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"			
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY			
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
FECHA:	23/03/2018			
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)		
UBICACIÓN:	PISAC			
ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
QUE PASA		RETENIDO SOBRE		GRADACION
Tamiz	mm.	Tamiz	mm.	B
1"	25.00	3/4"	19.05	
3/4"	19.05	1/2"	12.70	2500.00
1/2"	12.70	3/8"	9.53	2500.00
3/8"	9.53	Nº 4	4.75	
TOTAL (A) B1+B2+...				5000.00
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ Nº10 (C.)				4063.20
Nº DE ESFERAS				11
Nº DE REVOLUCIONES				500
TIEMPO DE ROTACION				15 min
PESO DEL MATERIAL DESGASTADO (D=A-C)				936.80
RESULTADO DE DESGASTE				
% DE ABRASION - ENSAYO				(%)
REQUERIMIENTO				
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS			35 % max.	(%)
EG. 2013			35 % max.	(%)
OBSERVACION				

3.4.1.1.5. Ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso MTC E 210

a) Equipos

- Balanza
- Tamices: ¾, ½, 3/8
- Tapa y fondo
- Espátula

b) Procedimiento

Se separa una determinada cantidad de agregado para realizar el ensayo en función del tamaño máximo nominal de éste, como muestra la siguiente:

Tabla 47: Toma de datos ensayo de abrasión del agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Muestra de ensayo mínima mm (pulg.)	Abertura Cuadrada, mm (pulg.) Masa, g (aprox. lb.)
9,5 (3/8)	200 (0,5)
12,5 (1/2)	500 (1)
19,0 (3/4)	1 500 (3)
25,0 (1)	3 000 (6,5)
37,5 (1 ½")	7 500 (16,5)
50,0 (2)	15 000 (33)
63,0 (2 ½)	30 000 (66)
75,0 (3)	60 000 (132)
90,0 (3 ½)	90 000 (198)

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Según la tabla anterior, debido a que el tamaño máximo de nuestro agregado es de ½, se sacó 500 gramos para realizar el ensayo.

Se lava y se seca el material para una mejor inspección de las caras de las partículas.

Se extiende el agregado en un lugar liso, limpio y amplio que permita una fácil inspección, se toma cada partícula, observando la cara directamente y si la cara constituye al menos un cuarto de la máxima sección transversal de la partícula de roca, considerar como una cara fracturada.



Figura 51: Inspección de caras fracturadas



Se separan en tres grupos: Partículas no fracturadas, partículas con una cara fracturada y partículas con dos o más caras fracturadas.



Figura 52: Clasificación de las partículas

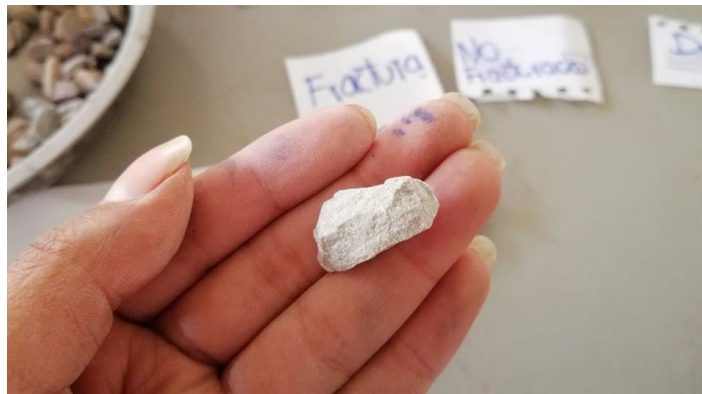


Figura 53: Partícula fracturada

Se determinó la masa de cada grupo, para luego determinar el porcentaje de caras fracturadas.



a) Toma de datos

Tabla 48: Toma de datos ensayo de porcentaje de partículas fracturadas

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO DE PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS MTC E 210						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA:	28/03/2018					
CANTERA:	MORRO BLANCO				MUESTRA (gr.)	
UBICACIÓN:	PISAC				-	
CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMIZ		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL CON CARA FRACTURADA	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS	PORCENTAJE RETENIDO GRADACION	PROMEDIO CARAS FRACTURADA
PASA	QUEDA					
		A	B	$C = (B/A) * 100$	D	$E = C * D$
3/4"	1/2"	2418	2341			
1/2"	3/8"	1258	1256			
3/8"	N°4	54	54			
TOTAL (C.)						
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURA (F1=C5/C4)						
CON DOS A MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMIZ		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL CON CARA FRACTURADA	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS	PORCENTAJE RETENIDO GRADACION ORIGINAL	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS
PASA	QUEDA					
		A	B	$C = ((B/A) * 100$	D	$E = C * D$
3/4"	1/2"	2418	2209			
1/2"	3/8"	1258	1182			
3/8"	N°4	54	53			
TOTAL (C.)						
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURAS (F2=C5/C4)						
RESULTADOS						
CARAS FRACTURADAS						
REQUERIMIENTO						
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS					90/70	
EG. 2013					90/70	
OBSERVACION						

3.4.1.1.6. Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados MTC E 221

a) Equipos

- Balanza
- Calibrador de longitudes
- Calibrador de espesores



- Tamices: $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$ y $\frac{1}{4}$

b) Procedimiento

La muestra inicial para el ensayo se determinó en función a la siguiente tabla:

Tabla 59: *Tamaño de muestra en función del tamaño máximo nominal del agregado*

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 (¼") kg
mm	(Pulg)	kg
50,0	(2)	35
40,0	(1 ½)	15
25,0	(1)	5
20,0	(¾)	2
12,5	(½)	1
10,0	(⅜)	0,5

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones,, 2016)

De acuerdo a la tabla, la cantidad utilizada fue de 1 kg, debido a que el tamaño máximo del agregado usado es $\frac{1}{2}$, se procedió a tamizar la muestra y a desechar todo aquel material que pasó por el tamiz de $\frac{1}{4}$ como indica en la norma TMC E 221, se determinó el peso retenido de cada tamiz y se descartan aquellos pesos menores al 10% del peso total.



Figura 54: Tamizado de la muestra

Después se ensayó el agregado, primero por el calibrador de espesores, haciendo pasar cada partícula por la abertura correspondiente a la fracción que está siendo ensayada.



Figura 55: Partícula sometida al calibrador de espesores

Aquellas que pasan por el calibrador son consideradas chatas, así se clasifica el material en dos, chatas y no chatas.



Figura 56: Partícula no chata



Figura 57: Partícula chata



Figura 58: Clasificación de las partículas de cada tamiz

Se pesa aquellas partículas que pasan por la ranura y aquellas que no, de cada fracción retenida en los tamices.

Seguidamente, se realiza el mismo procedimiento con el calibrador de longitudes, haciendo pasar partícula por la abertura correspondiente a la fracción a ser ensayada.



Figura 59: Partícula sometida al calibrador de longitudes

Aquellas partículas que no pasan por el calibrador son consideradas alargadas, así tenemos la muestra clasificada en dos: alargadas y no alargadas.



Figura 60: Partícula alargada



Figura 61: Particular no alargada



Figura 62: Clasificación de las partículas: alargadas y no alargadas



Figura 63: Clasificación de las partículas de cada tamiz



Y de igual forma se pesan las partículas que pasan por el calibrador y las que no, de cada fracción retenida en los tamices.

c) Toma de datos

Tabla 49: Toma de datos ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento del agregado grueso

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DEL AGREGADO GRUESO						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA:	26/03/2018					
CANTERA:	MORRO BLANCO		MUESTRA (gr.)			
UBICACIÓN:	PISAC					
INDICE DE ALARGAMIENTO DEL AGREGADO GRUESO						
TAMIZ		PESO	PORCENTAJE RETENIDO	PARTICULAS ALARGADAS		PROEMDIO
PASA	QUEDA			PESO	PORCENTAJE POR MALLA	
		A	$D = (A/C) * 100$	B	$F = (B/A) * 100$	$G = F * D$
3/4"	1/2"	2136		122		
1/2"	3/8"	1121		82		
3/8"	1/4"	627		58		
1/4"	N°4	70		15		
TOTAL (C)					Rpt: $H1 = (G1 + G2 \dots) / C2$	
INDICE DE APLANAMIENTO DEL AGREGADO GRUESO						
TAMIZ		PESO	PORCENTAJE RETENIDO	PARTICULAS ALARGADAS		PROEMDIO
PASA	QUEDA			PESO	PORCENTAJE POR MALLA	
		A	$D = (A/C) * 100$	B	$F = (E/A) * 100$	$G = F * D$
3/4"	1/2"	2136		50		
1/2"	3/8"	1121		32		
3/8"	1/4"	627		24		
1/4"	N°4	70		2		
TOTAL (C)					Rpt: $H2 = (G1 + G2 \dots) / C2$	
RESULTADOS						
INDICE DE APLANAMIENTO						
INDICE DE ALARGAMIENTO						
REQUERIMIENTO						
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS				10		%
EG. 2013				10		%
OBSERVACION						



3.4.1.1.7. Ensayo Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio MTC E 209

a) Equipos

- Tamices ½”, 3/8”, ¼”, N°4
- Envases utilizados para sumergir las muestras de agregados en la solución.
- Balanza con una capacidad no menos de 500 gr. y con una sensibilidad de por lo menos 0.1 gr. para pesar el agregado fino; se usará una balanza con una capacidad no menor de 5000 gr. y con una sensibilidad de por lo menos 1 gr. para pesar el agregado grueso.
- Horno de secado a una temperatura aproximada de 105°C.

b) Procedimiento

El agregado grueso para el ensayo será el material retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N°04). 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 siguientes cantidades de cada uno de los distintos tamaños (los pesos retenidos serán por lo menos el 5% de la muestra tamizada).

Tabla 50: *Peso mínimo de la muestra del agregado grueso para el ensayo*

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8”) a 4,75 mm (N° 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

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones,, 2016)



Se lava y seca completamente las muestras de agregado grueso hasta peso constante a 105°C a 110°C y se separará en los diferentes tamaños indicados, se registra el peso de la muestra de ensayo y sus fracciones componentes, se obtendrá el peso adecuado de la muestra para cada fracción y se colocará en envases individuales para el ensayo.



Figura 64: Muestras tamizadas para el ensayo

Se prepara la solución saturada de sulfato de magnesio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25 °C a 30 °C. Se agrega suficiente sal de la forma anhidra ($MgSO_4$) o la forma cristalina ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), para asegurar la saturación con la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para ser usada en los ensayos.



Figura 65: Preparación de la solución



Figura 66: Peso de $MgSO_4$ para agregar a la solución

Se realiza la inmersión de las muestras en la solución: Se introducirán las muestras en la solución 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 solución las cubra a una profundidad de por lo menos 1,5 cm.



Figura 67: Colocación de la solución en las muestras tamizadas



Figura 68: Lavado de la muestra



Figura 69: Tamizado y peso final

Después del periodo de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución, se deja escurrir durante $15 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$ y se coloca en el horno de secar, aproximadamente durante 4h.

Posteriormente se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos, 5 ciclos.

Después de finalizado el último ciclo, se retira la solución de cada material, se lava y se lleva a secar hasta obtener un peso constante, posteriormente se realiza el tamizado correspondiente y se registran los pesos finales por tamiz.



Figura 70: Muestras luego de los 5 ciclos



c) Toma de datos

Tabla 51: Toma de datos durabilidad del agregado grueso al sulfato de magnesio

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO AL SULFATO DE MAGNESIO						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON					
	VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE ASFALTO Y AGREGADO DEL GOBIERNO MUNICIPAL					
FECHA:	03/12/2018 - 07/12/2018					
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)				
UBICACIÓN:	PISAC					
ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO AL SULFATO DE MAGNESIO						
Tamiz	Peso retenido inicial	Peso después del ensayo	Porcentaje retenido	Pérdida de peso		Pérdida corregida (%)
				gr. E=(A-B)	% F=(E/A)	
	A	B	D=(A/C)			G=D*F
3/4"	1/2"	314	273			
1/2"	3/8"	317	294			
3/8"	1/4"	314	301			
1/4"	N°4	317	309			
				PERDIDA TOTAL (C=G1+G2+...)		
RESULTADOS						
PERDIDA TOTAL						(%)
REQUERIMIENTO						
CE.010 PAVIMENTOS URBANOS					15% max.	(%)
EG. 2013					15% max.	(%)
OBSERVACION						

3.4.1.2. Ensayo al Agregado Fino

3.4.1.2.1. Ensayo de Reducción de muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo por el método B: Cuarteo para agregado finos MTC E 103

a) Equipos

- Una pala
- Una vara de madera



b) Procedimiento

Para llevar a cabo la reducción de la muestra, se coloca la muestra en una superficie lisa, limpia y amplia; evitando la adición de sustancias extrañas.

Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono; se mezcla de nuevo hasta formar un nuevo cono, repitiendo esta operación tres veces.



Figura 71: Mezcla de agregado hasta formar una pila con forma cono

Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del cono. Cuidadosamente se aplana y extiende la pila cónica hasta darle base circular y espesor y diámetro uniforme presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original.

Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Se toman dos cuartos diagonales homogéneos y se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida; lo dos cuartos restantes se desechan.

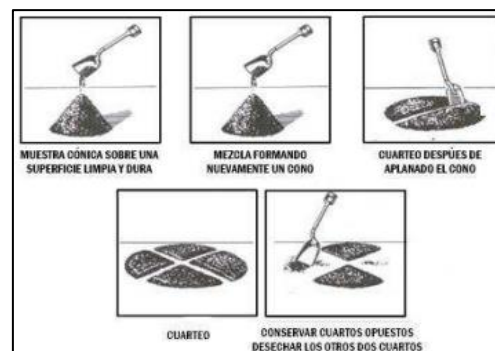


Figura 72: Cuarteo

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones,, 2016)



Figura 73: Partición en 4 partes iguales de la muestra



Figura 74: Dos cuartos diagonales homogéneos

Esto se realiza tanto para la arena natural como para la triturada:



Figura 75: Cuarteo del agregado fino



3.4.1.2.2. Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino MTC E 204

a) Equipos

- Balanza de precisión
- Serie de tamices: tamices N°04, 10, 40, 100, 200
- Fondo y tapa
- Tamizadora mecánica
- Recipientes metálicos
- Brocha
- Escobilla metálica

b) Procedimiento

La cantidad de muestra inicial con la cual se trabajó fue establecida según el peso mínimo dado en el Manual de Ensayos del MTC, que nos indica que para agregado fino el peso mínimo es de 300 gr.

Luego de poner la muestra en el juego de tamices, se lleva a cabo el tamizado de forma manual en la tamizadora mecánica durante 3 minutos.

Luego del tamizado se toman los pesos retenidos en cada tamiz de forma cuidadosa para no perder finos.

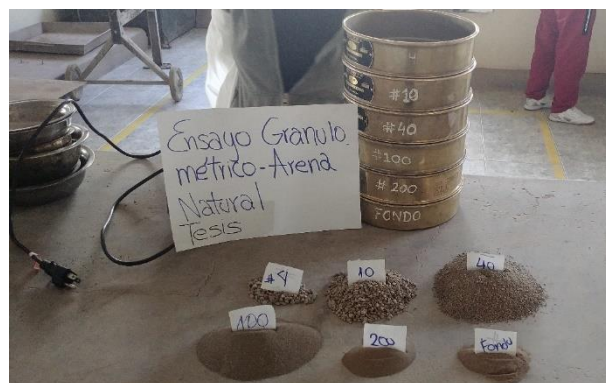


Figura 76: Granulometría del agregado fino



c) Toma de datos

Tabla 52: Toma de datos análisis granulométrico del agregado fino – arena triturada

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO MTC E 204						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA:	22/03/2018					
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)				
UBICACIÓN:	PISAC	1002				
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA						
Malla		Peso ret (gr)	Peso ret corregido	% Peso Ret (E.)	% Peso Acumulado	% Que pasa
Tamiz	mm.	A	$D=A+(B-C)/3$	D/C	$F=E1+E2+..$	100%-F
N° 4	4.75	86.74				
N° 10	2.00	326.46				
N° 40	0.43	301.64				
N° 100	0.15	150.50				
N° 200	0.08	70.55				
FONDO	-	66.03				
TOTAL						
DIFERENCIA DE PESOS MAX. 0.5%						
GRÁFICO						
CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA						
<p>The graph area is currently blank, showing only the axes for 'ABERTURA EN mm' (x-axis, logarithmic scale from 0.01 to 1.00) and 'PORCENTAJE QUE PASA %' (y-axis, linear scale from 0.0000% to 120.0000%).</p>						



Tabla 53: Toma de datos análisis granulométrico del agregado fino – arena natural

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO MTC E 204						
NOMBRE DE LA TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON VIDRIO RECICLADO, CUSCO 2018"					
TESISTAS:	ROMAN OJEDA CESAR AARON VALENZUELA MUÑOZ NICOLE MELANNY					
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA:	22/03/2018					
CANTERA:	MORRO BLANCO	MUESTRA (gr.)				
UBICACIÓN:	PISAC	1003.1				
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO - ARENA NATURAL						
Malla		Peso ret (gr)	Peso ret corregido (gr)	% Peso Ret (E.)	% Peso Acumulado	% Que pasa
Tamiz	mm.	A	D=A+(B-C)/3	D/C	F=E1+E2+...	100%-F
Nº 4	4.75	44.29				
Nº 10	2.00	233.02				
Nº 40	0.43	444.12				
Nº 100	0.15	217.62				
Nº 200	0.08	41.23				
FONDO	-	21.91				
TOTAL						
DIFERENCIA DE PESOS MAX. 0.5%						
GRÁFICO						
CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO FINO - ARENA NATURAL						
<p>The graph is a semi-logarithmic plot. The x-axis is labeled 'ABERTURA EN mm' and has major ticks at 0.01, 0.10, and 1.00. The y-axis is labeled 'PORCENTAJE QUE PASA %' and has major ticks at 0.000%, 20.000%, 40.000%, 60.000%, 80.000%, 100.000%, and 120.000%.</p>						

3.4.1.2.3. Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos MTC E 205

a) Equipos

- Fiola de 500 gr
- Balanza
- Horno
- Molde cónico
- Varilla metálica para apisonado



b) Procedimiento

Primeramente, se pesa sumerge el material por 24 horas en agua.



Figura 77: Material sumergido en agua durante 24 horas

Luego se seca en una hornilla hasta que quede superficialmente seco, para saber si la arena está superficialmente seca, se usa un molde metálico, en el cual se llena el material y se dan 25 golpes con la varilla metálica para apisonar, se retira el cono, si el material queda intacto significa que está muy húmedo, si por el contrario se deshace completamente, significa que está muy seco, lo ideal es que se desprendan los bordes.



Figura 78: Material en la hornilla para ser secado



Figura 79: Prueba con el molde metálico para saber si la arena esta superficialmente seca