

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Evaluación del efecto de las diferentes gradaciones
discontinuas del agregado en el desempeño de mezclas
asfálticas en Huancayo 2021**

Pierre Harrison Martinez Arisaca

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2021

ÍNDICE

PORTADA	1
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	19
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	19
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	19
1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	20
1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	20
1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	20
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	21
1.4.4. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	21
1.4.5. IMPORTANCIA	22
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.5.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL	23
1.5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL	23
1.5.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL	24
1.6. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	24

1.6.1.	HIPÓTESIS GENERAL	24
1.6.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	24
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO		26
2.1.	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	26
2.1.1.	ANTECEDENTES NACIONALES	26
2.1.2.	ANTECEDENTES INTERNACIONALES	30
2.2.	BASES TEÓRICAS	35
2.2.1.	ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO	35
2.2.2.	MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.....	41
2.2.3.	MÉTODO DE DISEÑO PARA MAC - HMA.....	47
2.2.4.	TIPOS DE MEZCLA ASFÁLTICA	49
2.2.5.	ENSAYOS DE DESEMPEÑO	54
2.2.6.	LIGANTE ASFÁLTICO	57
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	59
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		60
3.1.	MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	60
3.1.1.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.1.2.	NIVEL.....	60
3.1.3.	TIPO.....	61
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	62
3.3.1.	POBLACIÓN	62
3.3.2.	MUESTRA.....	62
3.3.3.	MUESTREO.....	62
3.4.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	63
3.5.	INTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	63
3.6.	VARIABLES.....	63
3.2.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	63

3.2.2.	VARIABLES DEPENDIENTES.....	63
3.7.	OPERACIONALIZACIÓN.....	64
CAPÍTULO IV RESULTADOS		65
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LA SELECCIÓN DE MATERIALES.....	65
4.1.1.	CONTROL DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS	67
4.1.2.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS	68
5.1.	RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	76
5.1.1.	OE 1 - DISEÑO POR TIPO DE MEZCLA	77
5.1.2.	OE 2 – PROPIEDADES MECÁNICAS POR TIPO DE MEZCLA	90
5.1.3.	OE 3 – DESEMPEÑO POR TIPO DE MEZCLA	115
5.1.4.	OG – DESEMPEÑO DE LAS GRADACIONES DISCONTINUAS	138
5.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	146
5.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	156
CONCLUSIONES.....		158
RECOMENDACIONES		160
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		162
ANEXOS.....		165
ANEXO 1.	PANEL FOTOGRÁFICO.....	165
ANEXO 2.	CERTIFICADOS DE LABORATORIO.....	176
ANEXO 3.	MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	200

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de la variable	64
Tabla 2: Resultados control de calidad del agregado grueso - Matahuasi	67
Tabla 3: Resultados control de calidad del agregado fino - Matahuasi.....	68
Tabla 4: Análisis granulométrico del agregado grueso de ½” - Matahuasi.....	69
Tabla 5: Análisis granulométrico del agregado fino procesado - Matahuasi.....	71
Tabla 6: Análisis granulométrico del agregado fino natural - Matahuasi.....	73
Tabla 7: Análisis granulométrico del agregado grueso de 3/8” - Matahuasi.....	75
Tabla 8: Mezcla de agregados para mezcla convencional tipo MAC 02.....	77
Tabla 9: Especificaciones MTC para mezcla convencional tipo MAC 02	78
Tabla 10: Mezcla de agregados para mezcla discontinua tipo SMA 12.....	80
Tabla 11: Especificaciones VN para mezcla discontinua tipo SMA 12	81
Tabla 12: Mezcla de agregados para mezcla discontinua tipo BBTM 11B.....	83
Tabla 13: Especificaciones EBADE para mezcla discontinua tipo BBTM 11B	84
Tabla 14: Mezcla de agregados para mezcla discontinua tipo HRA 35/14C.....	86
Tabla 15: Especificaciones S9000 para mezcla discontinua tipo HRA 35/14C	87
Tabla 16: Resumen de proporciones por tipo de mezcla asfáltica.....	89
Tabla 17: Propiedades mecánicas del MAC 02 por porcentaje de asfalto	91
Tabla 18: Resumen OCA de las propiedades mecánicas del MAC 02.....	96
Tabla 19: Propiedades mecánicas del SMA 12 por porcentaje de asfalto.....	97
Tabla 20: Resumen OCA de las propiedades mecánicas del SMA 12.....	102
Tabla 21: Propiedades mecánicas del BBTM 11B por porcentaje de asfalto	103
Tabla 22: Resumen OCA de las propiedades mecánicas del BBTM 11B	108
Tabla 23: Propiedades mecánicas del HRA 35/14C por porcentaje de asfalto	109
Tabla 24: Resumen OCA de las propiedades mecánicas del HRA 35/14C	114
Tabla 25: Ensayo de escurrimiento para SMA 12 con fibras de celulosa.....	115

Tabla 26: Ensayo de escurrimiento para BBTM 11B con fibras de celulosa	117
Tabla 27: Ensayo de escurrimiento para HRA 35/14C.....	119
Tabla 28: Ensayo de resistencia al desgaste para MAC 02.....	120
Tabla 29: Ensayo de resistencia al desgaste para SMA 12.....	121
Tabla 30: Ensayo de resistencia al desgaste para BBTM 11B	122
Tabla 31: Ensayo de resistencia al desgaste para HRA 35/14C.....	124
Tabla 32: Ensayo de resistencia de esfuerzos a tensión para MAC 02.....	126
Tabla 33: Ensayo de resistencia de esfuerzos a tensión para SMA 12.....	128
Tabla 34: Ensayo de resistencia de esfuerzos a tensión para BBTM 11B	130
Tabla 35: Ensayo de resistencia de esfuerzos a tensión para HRA 35/14C	132
Tabla 36: Resumen general de la estabilidad (kg) por tipo de diseño	139
Tabla 37: Resumen general del flujo (mm) por tipo de diseño.....	140
Tabla 38: Resumen general de resistencia al desgaste (%) por tipo de diseño.....	142
Tabla 39: Resumen general del coeficiente TSR (%) por tipo de diseño.....	144
Tabla 40: Resumen general del coeficiente TSR (%) por tipo de diseño.....	145
Tabla 41: Datos descriptivos de estabilidad (kg) para mezcla SMA 12	146
Tabla 42: Prueba de normalidad de estabilidad (kg) para mezcla SMA 12	148
Tabla 43: Correlación de estabilidad (kg) – asfalto (%) para mezcla SMA 12.....	150
Tabla 44: Datos descriptivos del flujo (mm) para mezcla SMA 12.....	151
Tabla 45: Prueba de normalidad del flujo (mm) para mezcla SMA 12.....	153
Tabla 46: Correlación del flujo (mm) – asfalto (%) para mezcla SMA 12.....	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ahuellamiento por baja resistencia a la deformación permanente	18
Figura 2: Vía en mal estado reflejando la susceptibilidad a la humedad y desgaste ...	18
Figura 3: Paquete estructural del pavimento asfáltico por capas.....	36
Figura 4: Esfuerzos compresionales	39
Figura 5: Esfuerzos tensionales	40
Figura 6: Distribución de esfuerzos por tipo de pavimento.....	40
Figura 7: Cronología del envejecimiento del CAP PEN.....	43
Figura 8: Comportamiento elástico	44
Figura 9: Comportamiento viscoso.....	45
Figura 10: Estructura granulométrica de una mezcla densa	51
Figura 11: Estructura granulométrica de una mezcla abierta.....	52
Figura 12: Estructura granulométrica de una mezcla discontinua.....	52
Figura 13: Diseños asfálticos por tipo de mezcla granulométrica	53
Figura 14: Obtención del cemento asfáltico CAP PEN.....	57
Figura 15: Ubicación satelital de la planta chancadora Matahuasi	66
Figura 16: Curva granulométrica de pasantes del agregado grueso 1/2".....	70
Figura 17: Curva granulométrica de pasantes del agregado fino procesado	72
Figura 18: Curva granulométrica de pasantes del agregado fino natural	74
Figura 19: Curva granulométrica de pasantes del agregado grueso 3/8".....	76
Figura 20: Curva de mezcla de agregados convencional por MAC 02.....	79
Figura 21: Curva de mezcla de agregados discontinua por SMA 12	82
Figura 22: Curva de mezcla de agregados discontinua por BBTM 11B	85
Figura 23: Curva de mezcla de agregados discontinua por HRA 35/14C	88
Figura 24: Resumen de curvas granulométricas por tipo de mezcla asfáltica.....	90
Figura 25: Vacíos (%) por porcentaje de asfalto del diseño MAC 02.....	93

Figura 26: Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto del diseño MAC 02	93
Figura 27: Flujo (mm) por porcentaje de asfalto del diseño MAC 02	94
Figura 28: Peso específico (gr/cm ³) por porcentaje de asfalto diseño MAC 02.....	95
Figura 29: VMA (%) por porcentaje de asfalto del diseño MAC 02.....	95
Figura 30: VFA (%) por porcentaje de asfalto del diseño MAC 02.....	96
Figura 31: Vacíos (%) por porcentaje de asfalto del diseño SMA 12.....	99
Figura 32: Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto del diseño SMA 12	99
Figura 33: Flujo (mm) por porcentaje de asfalto del diseño SMA 12	100
Figura 34: Peso específico (gr/cm ³) por porcentaje de asfalto diseño SMA 12.....	101
Figura 35: VMA (%) por porcentaje de asfalto del diseño SMA 12.....	101
Figura 36: VFA (%) por porcentaje de asfalto del diseño SMA 12.....	102
Figura 37: Vacíos (%) por porcentaje de asfalto del diseño BBTM 11B.....	105
Figura 38: Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto del diseño BBTM 11B.....	105
Figura 39: Flujo (mm) por porcentaje de asfalto del diseño BBTM 11B.....	106
Figura 40: Peso específico (gr/cm ³) porcentaje de asfalto diseño BBTM 11B.....	107
Figura 41: VMA (%) por porcentaje de asfalto del diseño BBTM 11B	107
Figura 42: VFA (%) por porcentaje de asfalto del diseño BBTM 11B	108
Figura 43: Vacíos (%) por porcentaje de asfalto del diseño HRA 35/14C	111
Figura 44: Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto del diseño HRA 35/14C.....	111
Figura 45: Flujo (mm) por porcentaje de asfalto del diseño HRA 35/14C.....	112
Figura 46: Peso específico (gr/cm ³) porcentaje asfalto diseño HRA 35/14C.....	113
Figura 47: VMA (%) por porcentaje de asfalto del diseño HRA 35/14C.....	113
Figura 48: VFA (%) por porcentaje de asfalto del diseño HRA 35/14C	114
Figura 49: Gráfica del índice de escurrimiento para SMA 12.....	116
Figura 50: Gráfica del índice de escurrimiento para BBTM 11B	118
Figura 51: Diagrama del ensayo de resistencia al desgaste para MAC 02	121
Figura 52: Diagrama del ensayo de resistencia al desgaste para SMA 12	122

Figura 53: Diagrama del ensayo de resistencia al desgaste para BBTM 11B.....	123
Figura 54: Diagrama del ensayo de resistencia al desgaste para HRA 35/14C.....	125
Figura 55: Diagrama del coeficiente TSR para MAC 02.....	127
Figura 56: Diagrama del coeficiente TSR para SMA 12.....	129
Figura 57: Diagrama del coeficiente TSR para BBTM 11B.....	131
Figura 58: Diagrama del coeficiente TSR para HRA 35/14C.....	134
Figura 59: Gráfica de resistencia a la deformación permanente MAC 02.....	135
Figura 60: Gráfica de resistencia a la deformación permanente SMA 12.....	136
Figura 61: Gráfica de resistencia a la deformación permanente BBTM 11B.....	137
Figura 62: Gráfica de resistencia a la deformación permanente HRA 35/14C.....	138
Figura 63: Resumen general gráfico de la estabilidad (kg) por tipo de diseño.....	140
Figura 64: Resumen general gráfico del flujo (mm) por tipo de diseño.....	142
Figura 65: Resumen general gráfico del desgaste (%) por tipo de diseño.....	143
Figura 66: Resumen general gráfico del coeficiente TSR por tipo de diseño.....	144
Figura 67: Resumen general gráfico de deformación máxima por diseño.....	145
Figura 68: Diagrama de bigotes de estabilidad (kg) para mezcla SMA 12.....	149
Figura 69: Diagrama de dispersión para estabilidad (kg) en mezcla SMA 12.....	151
Figura 70: Diagrama de bigotes del flujo (mm) para mezcla SMA 12.....	154
Figura 71: Diagrama de dispersión para el flujo (mm) en mezcla SMA 12.....	155

RESUMEN

La aparición de fallas tempranas en el pavimento asfáltico reduce la comodidad, la seguridad y la eficiencia de una vía. En la región de Huancayo, el agrietamiento por susceptibilidad a la humedad, el desgaste originado por tráfico y el ahuellamiento por deformaciones permanentes son factores que comprometen directamente al desempeño del pavimento asfáltico. Por ello el objetivo principal de esta investigación es evaluar el efecto de las gradaciones discontinuas del agregado en el desempeño de mezclas asfálticas que permitan cumplir con altos estándares de calidad. Considerando el estricto cumplimiento de la normativa nacional vigente y procurando cumplir con estándares internacionales mediante la aplicación de gradaciones discontinuas en la mezcla asfáltica en caliente.

El adecuado análisis del desempeño de una mezcla asfáltica discontinua demanda una meticulosa elaboración del diseño de mezcla a evaluar, teniendo en consideración que para la investigación se proyectan a comparar tres distintos tipos de gradación discontinua (SMA, BBTM y HRA), con un diseño de mezcla densa convencional. El proceso de la obtención de resultados presenta un orden donde en primera instancia se realiza la selección de materiales que cumplieron con los requerimientos para agregados finos y gruesos. Con los agregados seleccionados se realiza el diseño para cada tipo de gradación, obteniendo mezclas que procuren cumplir con las disposiciones de la normativa nacional Marshall y al mismo tiempo cumplan también con los requerimientos de las normativas internacionales de referencia respecto de los ensayos de desempeño a los que se sometieron los distintos tipos de mezcla. Adicionalmente se trabajaron con tres tipos distintos de ligante asfáltico (asfalto 85-100, asfalto con polímeros y asfalto con caucho) debido a los requerimientos especificados para mezclas asfálticas discontinuas por las normativas internacionales de referencia.

Finalizando la investigación al llegar a los objetivos planteados, se concluyó que la mezcla discontinua tipo SMA12 presenta las mejores propiedades mecánicas y un mejor desempeño en comparación con las mezclas discontinuas tipo BBTM11B y HRA35/14C cumpliendo con los estándares de calidad especificados en la normativa internacionales de referencia y cumpliendo también con los requerimientos de la normativa nacional. Respecto de la mezcla densa convencional analizada se obtuvo que cumplió con todos los requerimientos normativos nacionales, pero presentó un mal comportamiento al ser sometido a los distintos ensayos de desempeño con un coeficiente TSR de 60.77% y una pérdida de masa de 22.22% que no cumple con los requerimientos de calidad.

Palabras clave. Desempeño de mezcla, gradación discontinua, mezcla convencional.

ABSTRACT

The appearance of early failures in the asphalt pavement reduces the comfort, safety and efficiency of a road. In the Huancayo region, cracking due to susceptibility to humidity, wear caused by traffic and rutting due to permanent deformations are factors that directly compromise the performance of asphalt pavement. Therefore, the main objective of this research is to evaluate the effect of discontinuous gradations of the aggregate on the performance of asphalt mixtures that meet high quality standards. Considering strict compliance with current national regulations and trying to comply with international standards by applying discontinuous gradations in hot asphalt mix.

The adequate performance analysis of a discontinuous asphalt mix demands a meticulous elaboration of the mix design to be evaluated, taking into consideration that for the investigation three different types of discontinuous gradation (SMA, BBTM and HRA) are projected to be compared, with a design of conventional dense mix. The process of obtaining results presents an order where in the first instance the selection of materials that met the requirements for fine and coarse aggregates is made. With the selected aggregates, the design is carried out for each type of gradation, obtaining mixtures that seek to comply with the provisions of the Marshall national regulations and at the same time also comply with the requirements of the international standards of reference regarding performance tests to the that the different types of mixture were subjected. Additionally, three different types of asphalt binder were used (85-100 asphalt, asphalt with polymers and asphalt with rubber) due to the requirements specified for discontinuous asphalt mixtures by the international reference standards.

Completing the investigation when reaching the proposed objectives, it was concluded that the discontinuous mix type SMA12 presents the best mechanical properties and a better performance compared to the discontinuous mixes type BBTM11B and HRA35 / 14C, complying with the quality standards specified in international regulations. reference and also complying with the requirements of national regulations. Regarding the conventional dense mixture analyzed, it was obtained that it complied with all the national regulatory requirements, but presented a bad behavior when subjected to the different performance tests in comparison with the discontinuous grading mixtures.

Keywords. Mixing performance, discontinuous grading, conventional mixing.