

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Análisis de las propiedades mecánicas y desempeño  
de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la  
supresión de los tamaños intermedios del árido  
grueso, Huancayo 2022**

Jhair Jeyson Saenz Jara  
Kiara Sherly Calderon Leandro

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : Felipe Néstor Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Omar Augusto Hidalgo Quispe  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 15 de Diciembre de 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) SAENZ JARA Jhair Jeyson y CALDERON LEANDRO Kiara Sherly, de la E.A.P. de Ingeniería Civil; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 2 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, JHAIR JEYSON SAENZ JARA, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 73594929, de la E.A.P. de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

15 de diciembre de 2023.

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, KIARA SHERLY CALDERON LEANDRO, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 70200952, de la E.A.P. de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

5. La tesis titulada: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

15 de diciembre de 2023.

# ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

2%	%	2%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

- 1** Norma Cristina Solarte Vanegas. "Efecto en el módulo dinámico de la mezcla asfáltica modificada con añadido de residuos triturados de la industria cerámica", Universitat Politecnica de Valencia, 2022  
Publicación 1%
- 2** N. G. Cayo-Chileno, C. Moran-Velásquez, J. H. A. Rocha. "Estimación de la resistencia a la compresión del hormigón por medio del ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)", CONGRESO LATINO-AMERICANO DE PATOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN, 2021  
Publicación <1%
- 3** "Conociendo los componentes (fases) que sustentan el funcionamiento del modelo de gestión de calidad educativa en dos Jardines Infantiles de la Región Metropolitana", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2016  
Publicación <1%

---

4 "Proceedings of the 6th Brazilian Technology Symposium (BTSym'20)", Springer Science and Business Media LLC, 2021 <1 %

Publicación

---

5 A. Alonso, E. Tejada, F. Moreno, M. C. Rubio, E. Medel. "Estudio de laboratorio sobre utilización de zeolita natural *versus* zeolita sintética en la fabricación de mezclas semicalientes", Materiales de Construcción, 2013 <1 %

Publicación

---

6 "Characterization of texture and flavor compounds of selected Chilean seaweed", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2023 <1 %

Publicación

---

7 ENVIRONMENTAL HYGIENE & SAFETY SRLTDA. "DIA del Proyecto Planta de Producción de Concreto Premezclado y Asfalto-IGA0001165", R.D. N° 371-2015-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020 <1 %

Publicación

---

8 David Anibal Paz Panduro. "Impacto de los diarios digitales en la votación electoral", Industrial Data, 2020 <1 %

Publicación

---

9 Harrison de la Rosa Ramírez. "Desarrollo de formulaciones de ácido poliláctico (PLA) <1 %

basadas en la incorporación de derivados de la colofonia", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

---

10 "Efecto del curado interno en hormigones y su aplicación como método complementario al curado tradicional en obra del hormigón.", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2016

Publicación

---

11 "Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 26 (2010)", Brill, 2014

Publicación

---

12 "Optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de infraestructuras de transporte terrestre", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2016

Publicación

---

13 Luisa Paulina Viera Arroba. "Factibilidad constructiva de viviendas con muros portantes de fardos de paja energéticamente eficientes y sismo resistentes en la zona andina del Ecuador", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

---

14 Gabriel Dias Mangolini Neves. "Redes e arranjos: aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos da Região

Metropolitana de Campinas", Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA), 2020

Publicación

- 
- 15 Martv=hez, A, R Jimv©nez, B Rubio, and F Pv©rez. "Assessment of moisture effect on open graded mixes using water sensitivity and Cv°ntabro after immersion tests", Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials, 2009. <1%

Publicación

- 
- 16 Yu Zhao, Ana María Pinto Llorente, María Cruz Sánchez Gómez. "An Empirical Study of Students and Teaching Staff's Digital Competence in Western China", Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, 2019 <1%

Publicación

- 
- 17 Freddy J. Sánchez-Leal. "Gradation Chart for Asphalt Mixes: Development", Journal of Materials in Civil Engineering, 2007 <1%

Publicación

- 
- 18 "Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 16 (2000)", Brill, 2004 <1%

Publicación

---

19 Claudia Pérez Piroto. "Obtención de fibra alimentaria a partir del subproducto de la industria citrícola, a través de la aplicación de diferentes tecnologías de extracción.", Universitat Politècnica de Valencia, 2022  
Publicación

---

20 Ibrahim Elnaml, Momen Mousa, Marwa M. Hassan, Ipshit Idris, Louay Mohammad. "Development of Cost-Effective High-Modulus Asphalt Concrete Mixtures Using Crumb Rubber and Local Construction Materials in Louisiana", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2022  
Publicación

---

21 Jakeline Serrano García. "Desarrollo del producto innovador verde desde sus antecedentes hasta el impacto: evidencia de acuerdo con la Encuesta Europea de Innovación en Producción", Universitat Politècnica de Valencia, 2023  
Publicación

---

22 KNIGHT PIESOLD CONSULTORES S.A.. "EIA del Proyecto Constancia-IGA0006961", R.D. N° 390-2010-MEM-AAM, 2020  
Publicación

---

23 Marta De Prados Pedraza. "Caracterización mediante ultrasonidos de señal de los

cambios composicionales del jamón curado durante su procesado", Universitat Politecnica de Valencia, 2016

Publicación

---

24 Moreno, F.. "Analysis of digestion time and the crumb rubber percentage in dry-process crumb rubber modified hot bituminous mixes", Construction and Building Materials, 201105 <1 %

Publicación

---

25 Verónica Valdez-Hernández, Ietza Bojorquez, Luz de Lourdes Eguluz Romo, Claudia Unikel. "'You have to be slim!' Epiphanies: Body image construction in middle-aged women", Revista Mexicana de Trastornos Alimentarios, 2017 <1 %

Publicación

---

26 "Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 17 (2001)", Brill, 2005 <1 %

Publicación

---

27 "Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 32 (2016)", Brill, 2018 <1 %

Publicación

---

28 L. Ocola. "Procedure to estimate maximum ground acceleration from macroseismic intensity rating: application to the Lima, Perú <1 %

data from the October-3-1974-8.1-Mw earthquake", Advances in Geosciences, 01/02/2008

Publicación

29

O. A. Cabrera, L. P. Traversa, N. F. Ortega. "Fluidez de morteros cementíceos con arenas machacadas", Materiales de Construcción, 2010

Publicación

<1 %

30

FIDEL SALAS VICENTE. "Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos.", Universitat Politecnica de Valencia, 2015

Publicación

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO  
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA,  
POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL  
ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Ing. SAENZ JARA JHAIR JEYSON**

**Bach. Ing. CALDERON LEANDRO KIARA SHERLY**

**HUANCAYO - PERÚ**

**2023**

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestros agradecimientos a la Universidad Continental, por ser parte de nuestra formación profesional en la facultad de Ingeniería Civil para la obtención del pregrado.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos la presente investigación a nuestros familiares, quienes, con su apoyo, fueron parte de este camino de formación académica que culmina con la presentación de este trabajo de investigación.

## ÍNDICE

PORTADA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	16
1.1. Planteamiento del Problema.....	16
1.2. Formulación del Problema.....	17
1.2.1. Problema General.....	17
1.2.2. Problemas Específicos.....	17
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Justificación e importancia.....	18
1.4.1. Justificación práctica.....	18
1.4.2. Justificación económica.....	19
1.4.3. Justificación metodológica.....	19
1.4.4. Importancia.....	19
1.5. Delimitación de la investigación.....	19
1.5.1. Delimitación espacial.....	19
1.5.2. Delimitación temporal.....	19
1.5.3. Delimitación conceptual.....	19

1.6. Hipótesis y descripción de variables .....	20
1.6.1. Hipótesis General .....	20
1.6.2. Hipótesis Específicas .....	20
1.7. Variables.....	20
1.7.1. Variable Independiente .....	20
1.7.2. Variable Dependiente .....	20
1.8. Operacionalización de variables .....	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. Antecedentes del Problema .....	22
2.1.1. Antecedentes Nacionales .....	22
2.1.2. Antecedentes Internacionales .....	26
2.2. Bases Teóricas.....	30
2.2.1. Estructura del pavimento asfáltico.....	30
2.2.2. Mezclas asfálticas en caliente .....	35
2.2.3. Método de diseño para MAC - HMA.....	37
2.2.4. Tipos de mezcla asfáltica.....	38
2.2.5. Ensayos de desempeño .....	43
2.3. Definición de Términos Básicos .....	46
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	48
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	48
3.1.1. Método de Investigación .....	48
3.1.2. Nivel .....	48
3.1.3. Tipo .....	48
3.2. Diseño de la investigación.....	49
3.3. Población y muestra .....	49
3.3.1. Población .....	49
3.3.2. Muestra .....	49

3.3.3. Muestreo .....	50
3.4. Técnicas de recolección de datos .....	50
3.5. Instrumento de análisis de datos .....	50
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
4.1. Caracterización Básica Materiales.....	51
4.1.1. Selección de materiales – Agregados Gruesos .....	51
4.1.2. Selección de materiales – Agregados Finos .....	55
4.1.3. Selección de materiales – Filler.....	58
4.1.4. Selección de materiales – Ligante asfáltico .....	60
4.2. Diseños de Mezcla Asfáltica Control.....	61
4.2.1. Mezcla teórica – Diseño de Mezcla MAC 01 .....	61
4.2.2. Mezcla teórica – Diseño de Mezcla MAC 02.....	64
4.3. Supresión de Tamaños Intermedios de Agregado Grueso .....	66
4.3.1. Supresión Granulométrica – Diseño de Mezcla MAC 01 .....	66
4.3.2. Supresión Granulométrica – Diseño de Mezcla MAC 02 .....	72
4.4. Estabilidad y Flujo por supresión de Agregados Intermedios – OE1 .....	78
4.4.1. Estabilidad y Flujo – Diseño de Mezcla MAC 01 .....	78
4.4.2. Estabilidad y Flujo – Diseño de Mezcla MAC 02.....	81
4.5. Inmersión Compresión por supresión de Agregados Intermedios – OE2 .....	84
4.5.1. Inmersión Compresión – Diseño de Mezcla MAC 01.....	84
4.5.2. Inmersión Compresión – Diseño de Mezcla MAC 02.....	86
4.6. Ahuellamiento por supresión de Agregados Intermedios – OE3.....	88
4.6.1. Ahuellamiento – Diseño de Mezcla MAC 01 .....	88
4.6.2. Ahuellamiento – Diseño de Mezcla MAC 02 .....	91
4.7. Discusión de Resultados por Supresión de Agregados – OG .....	93
4.8. Análisis Estadístico – Supresión de agregados MAC.....	98
4.8.1. Diseño MAC 01 – Supresión de Agregados.....	99

4.8.2. Diseño MAC 02 – Supresión de Agregados.....	115
CONCLUSIONES .....	131
RECOMENDACIONES.....	133
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	135
ANEXOS .....	138
ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO.....	138
ANEXO 2. CERTIFICADOS .....	170
ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	185

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de la variable.....	21
Tabla 2: Análisis granulométrico – Material grueso ¾” chancado.....	52
Tabla 3: Análisis granulométrico – Material grueso ½” chancado.....	53
Tabla 4: Análisis granulométrico arena – Material fino chancado.....	55
Tabla 5: Análisis granulométrico arena – Material fino natural .....	57
Tabla 6: Análisis granulométrico filler – Cal.....	59
Tabla 7: Ficha técnica resumen del CAP PEN 85/100.....	61
Tabla 8: Mezcla Teórica MAC 01 - Porcentajes Establecidos .....	62
Tabla 9: Mezcla Teórica MAC 01 - Especificaciones Técnicas.....	62
Tabla 10: Mezcla Teórica MAC 02 - Porcentajes Establecidos .....	64
Tabla 11: Mezcla Teórica MAC 02 - Especificaciones Técnicas.....	65
Tabla 12: Supresión de agregados gruesos al 20% - MAC 01 .....	67
Tabla 13: Supresión de agregados gruesos al 40% - MAC 01 .....	68
Tabla 14: Supresión de agregados gruesos al 60% - MAC 01 .....	70
Tabla 15: Supresión de agregados gruesos al 20% - MAC 02 .....	73
Tabla 16: Supresión de agregados gruesos al 40% - MAC 02 .....	74
Tabla 17: Supresión de agregados gruesos al 60% - MAC 02 .....	77
Tabla 18: Supresión de agregados MAC 01 – Estabilidad y Flujo .....	79
Tabla 19: Supresión de agregados MAC 02 – Estabilidad y Flujo .....	82
Tabla 20: Supresión de agregados MAC 01 – Inmersión Compresión.....	85
Tabla 21: Supresión de agregados MAC 01 – Inmersión Compresión.....	87
Tabla 22: Supresión de agregados MAC 01 – Ahuellamiento .....	89
Tabla 23: Supresión de agregados MAC 02 – Ahuellamiento .....	92
Tabla 24: Detallado estadístico para la estabilidad del diseño MAC 01 .....	99
Tabla 25: Distribución paramétrica para la estabilidad del diseño MAC 01 ....	100
Tabla 26: Prueba bivariada para la estabilidad del diseño MAC 01 .....	102
Tabla 27: Detallado estadístico para el flujo del diseño MAC 01 .....	103
Tabla 28: Detallado estadístico para el flujo del diseño MAC 01 .....	104
Tabla 29: Prueba bivariada para el flujo del diseño MAC 01 .....	106
Tabla 30: Detallado estadístico resistencia a la compresión diseño MAC 01.	107
Tabla 31: Distribución paramétrica compresión del diseño MAC 01.....	108
Tabla 32: Prueba bivariada a la compresión del diseño MAC 01 .....	110

Tabla 33: Detallado estadístico para el ahuellamiento del diseño MAC 01 ....	111
Tabla 34: Distribución paramétrica para el ahuellamiento diseño MAC 01 ....	112
Tabla 35: Prueba bivariada para el ahuellamiento del diseño MAC 01 .....	114
Tabla 36: Detallado estadístico para la estabilidad del diseño MAC 02 .....	115
Tabla 37: Distribución paramétrica para la estabilidad del diseño MAC 02....	116
Tabla 38: Prueba bivariada para la estabilidad del diseño MAC 02 .....	118
Tabla 39: Detallado estadístico para el flujo del diseño MAC 02 .....	119
Tabla 40: Distribución paramétrica para el flujo del diseño MAC 02 .....	120
Tabla 41: Prueba bivariada para el flujo del diseño MAC 02 .....	122
Tabla 42: Detallado estadístico para compresión del diseño MAC 02.....	123
Tabla 43: Distribución paramétrica para compresión del diseño MAC 02 .....	124
Tabla 44: Prueba bivariada para la resistencia compresión diseño MAC 02..	126
Tabla 45: Detallado estadístico para el ahuellamiento del diseño MAC 02 ....	127
Tabla 46: Distribución paramétrica para el ahuellamiento diseño MAC 02 ....	128
Tabla 47: Prueba bivariada para el ahuellamiento del diseño MAC 02 .....	130

## LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1: Vista de ahuellamiento de la carpeta .....	17
Ilustración 2: Paquete estructural del pavimento asfáltico por capas .....	32
Ilustración 3: Esfuerzos compresionales .....	34
Ilustración 4: Distribución de esfuerzos por tipo de pavimento .....	35
Ilustración 5: Estructura granulométrica de una mezcla densa.....	40
Ilustración 6: Estructura granulométrica de una mezcla abierta .....	41
Ilustración 7: Estructura granulométrica de una mezcla discontinua .....	41
Ilustración 8: Diseños asfálticos por tipo de mezcla granulométrica.....	43
Ilustración 9: Fuente de agregados gruesos – Matahuasi .....	51
Ilustración 10: Curva granulométrica agregado grueso $\frac{3}{4}$ " procesado .....	53
Ilustración 11: Curva granulométrica agregado grueso $\frac{1}{2}$ " procesado .....	54
Ilustración 12: Fuente de agregados finos – Matahuasi.....	55
Ilustración 13: Curva granulométrica agregado fino procesado / arena .....	56
Ilustración 14: Curva granulométrica agregado fino natural / arena .....	58
Ilustración 15: Material fino aglomerante – Filler Cal .....	58
Ilustración 16: Curva granulométrica filler / Cal.....	60
Ilustración 17: Ligante asfáltico CAP PEN 85/100 - Brima.....	60
Ilustración 18: Curva granulométrica MAC 01 - Control.....	63
Ilustración 19: Curva granulométrica MAC 02 - Control.....	66
Ilustración 20: Supresión de agregados gruesos al 20% - MAC 01.....	68
Ilustración 21: Supresión de agregados gruesos al 40% - MAC 01.....	70
Ilustración 22: Supresión de agregados gruesos al 60% - MAC 01.....	72
Ilustración 23: Supresión de agregados gruesos al 20% - MAC 02.....	74
Ilustración 24: Supresión de agregados gruesos al 40% - MAC 02.....	76
Ilustración 25: Supresión de agregados gruesos al 60% - MAC 02.....	78
Ilustración 26: Supresión de agregados MAC 01 – Estabilidad (kg).....	80
Ilustración 27: Supresión de agregados MAC 01 – Flujo (mm).....	81
Ilustración 28: Supresión de agregados MAC 02 – Estabilidad (kg).....	83
Ilustración 29: Supresión de agregados MAC 02 – Flujo (mm).....	84
Ilustración 30: Supresión de agregados MAC 01 – Inmersión Compresión .....	86
Ilustración 31: Supresión de agregados MAC 02 – Inmersión Compresión .....	88
Ilustración 32: Espectro de deformaciones MAC 01 – Ahuellamiento .....	89

Ilustración 33: Supresión comparativa MAC 01 – Ahuellamiento .....	90
Ilustración 34: Espectro de deformaciones MAC 02 – Ahuellamiento .....	91
Ilustración 35: Supresión comparativa MAC 02 – Ahuellamiento .....	93
Ilustración 36: Supresión comparativa MAC – Estabilidad (kg) .....	94
Ilustración 37: Supresión comparativa MAC – Flujo (mm) .....	94
Ilustración 38: Supresión comparativa – Inmersión Compresión (25°C).....	95
Ilustración 39: Supresión comparativa – Inmersión Compresión (60°C).....	96
Ilustración 40: Supresión comparativa MAC – Ahuellamiento (mm) .....	97
Ilustración 41: Supresión comparativa MAC – Contenido de Asfalto (%) .....	98
Ilustración 42: Gráfica de cajas para la estabilidad del diseño MAC 01 .....	101
Ilustración 43: Diagrama burbujas para la estabilidad del diseño MAC 01 .....	102
Ilustración 44: Gráfica de cajas para el flujo del diseño MAC 01 .....	105
Ilustración 45: Diagrama de burbujas para el flujo del diseño MAC 01 .....	106
Ilustración 46: Gráfica de cajas para compresión del diseño MAC 01 .....	109
Ilustración 47: Diagrama de burbujas para la compresión diseño MAC 01 ....	110
Ilustración 48: Gráfica de cajas para el ahuellamiento del diseño MAC 01 ....	113
Ilustración 49: Gráfica de cajas para el ahuellamiento del diseño MAC 01 ....	114
Ilustración 50: Gráfica de cajas para la estabilidad del diseño MAC 02 .....	117
Ilustración 51: Diagrama burbujas para la estabilidad del diseño MAC 02 .....	118
Ilustración 52: Gráfica de cajas para el flujo del diseño MAC 02 .....	121
Ilustración 53: Diagrama de burbujas para el flujo del diseño MAC 02 .....	122
Ilustración 54: Gráfica de cajas para la compresión del diseño MAC 02 .....	125
Ilustración 55: Diagrama de burbujas para compresión del diseño MAC 02 ..	126
Ilustración 56: Gráfica de cajas para el ahuellamiento del diseño MAC 02 ....	129
Ilustración 57: Diagrama de burbujas para ahuellamiento diseño MAC 02 ....	130

## RESUMEN

Para el diseño de mezclas asfálticas, es necesario cumplir con determinadas granulometrías de acuerdo con las condiciones intempestivas a las que se verá expuesto, por lo que se propone una serie de husos que plantean una alteración en los porcentajes de pasantes con la finalidad de dotar a la mezcla de mejores propiedades. Es por ello que, en la presente investigación, se plantea por objetivo principal el determinar en qué medida varía las propiedades mecánicas y desempeño de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso.

Al alterar la granulometría que corresponde a una mezcla asfáltica mediante la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, se propuso una serie de ensayos que consigan medir de forma efectiva las variaciones en las propiedades mecánicas y desempeño de la mezcla. Comenzando por la elaboración de dos diseños de mezcla de distintas clasificaciones que cumplan con los requerimientos normativos convencionales, para suprimir de forma progresiva los tamaños intermedios de huso granulométrico hasta llegar a conseguir un punto de discontinuidad que simule una mezcla asfáltica discontinua. Con la finalidad de cuantificar las alteraciones en las propiedades de la mezcla, se analizó la estabilidad, flujo, la resistencia a la humedad y el ahuellamiento que corresponde a cada diseño de mezcla planteado.

De acuerdo con cada una de las propiedades analizadas sobre los diseños de mezcla elaborados, se llegó a la conclusión de que la supresión en los tamaños intermedios de la mezcla puede llegar a mejorar las propiedades mecánicas, la resistencia por inmersión compresión y el ahuellamiento, siempre y cuando se encuentre un punto de discontinuidad adecuado en específico para el tipo de diseño realizado. La progresión en la alteración de la granulometría genera cambios en el óptimo contenido de asfalto al incurrir en aumentar su porcentaje sobre el peso de la mezcla.

**PALABRAS CLAVE:** Supresión granular, Propiedades mecánicas, Desempeño, inmersión compresión, Ahuellamiento.

## ABSTRACT

For the design of asphalt mixtures, it is necessary to comply with certain granulometries according to the untimely conditions to which it will be exposed, for which reason a series of spindles is proposed that propose an edition in the percentages of through-passes in order to provide the mixture with of better properties. That is why in the present investigation the main objective is to determine to what extent the mechanical properties and the performance of asphalt mixtures of altered granulometry vary, due to the suppression of the intermediate sizes of the coarse aggregate.

By altering the granulometry that corresponds to an asphalt mix by suppressing the intermediate sizes of the coarse aggregate, a series of tests were proposed that effectively measure the variations in the mechanical properties and performance of the mix. Beginning with the development of two mix designs of different classifications that comply with conventional regulatory requirements, to progressively suppress the intermediate granulometric spindle sizes until reaching a point of discontinuity that simulates a discontinuous asphalt mix. In order to quantify the changes in the properties of the mixture, the stability, flow, resistance to humidity and rutting corresponding to each proposed mixture design were analyzed.

According to each one of the properties analyzed on the elaborated mixture designs, it was concluded that the suppression in the intermediate sizes of the mixture can improve the mechanical properties, the resistance by immersion compression and the rutting, always in when an adequate point of discontinuity is found specifically for the type of design I carry out. The progression in the alteration of the granulometry generates changes in the optimum asphalt content by incurring in increasing its percentage on the weight of the mix.

**KEY WORDS:** Granular suppression, Mechanical properties, Performance, compression immersion, Rutting.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico y urbano a nivel global depende de las carreteras para el transporte de carga y pasajeros. La necesidad de una red vial capaz de satisfacer la producción y el drenaje de pasajeros crece con el aumento de la flota de vehículos y la demanda de tráfico. Debido al crecimiento en el volumen de tráfico y especialmente al desarrollo tecnológico que permite que los camiones se muevan con mayores cargas por eje, se debe tener cuidado durante las etapas de diseño, construcción y mantenimiento de los pavimentos. (Neves Filho, 2014)

El pavimento es una estructura en capas, construida sobre la subrasante y que debe soportar las cargas del tráfico, brindando a los usuarios seguridad, comodidad y economía, estrictamente relacionadas con el estado de la superficie del pavimento. Las cargas aplicadas por el tráfico son soportadas en su mayor parte por el árido de la superficie del pavimento, que debe cumplir unos requisitos mínimos de calidad. Además, la clasificación de los agregados también afecta el desempeño del servicio. Dependiendo del tamaño de los agregados, las mezclas asfálticas pueden ser: discontinuas abiertas (open-graded), discontinuas densas (gap-graded) o densas sólidas.

Una de las funciones de la superficie del pavimento es brindar seguridad a los usuarios y contribuir a reducir la siniestralidad, esa crítica en la superficie mojada, cuando hay una disminución de la adherencia (rozamiento) y la visibilidad (reflejo de la luz y el rocío de agua).

Desafortunadamente, podemos ver que demasiados pavimentos presentan en su superficie diferentes tipos de defectos, como grietas, agujeros y deformaciones, causando molestias, reduciendo costos y aumentando la seguridad de los usuarios. Con el objetivo de cumplir con las expectativas de los usuarios, de una manera más económica y rápida, han venido implementando servicios de emergencia para corregir la superficie del pavimento. Muchas agencias viales, empresas y alcaldías brasileñas vienen realizando actividades de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos junto con las recomendaciones técnicas, debido a la falta de inversiones técnicas y a la mala preparación de la gestión, falta de experiencia y desánimo de los equipos técnicos.

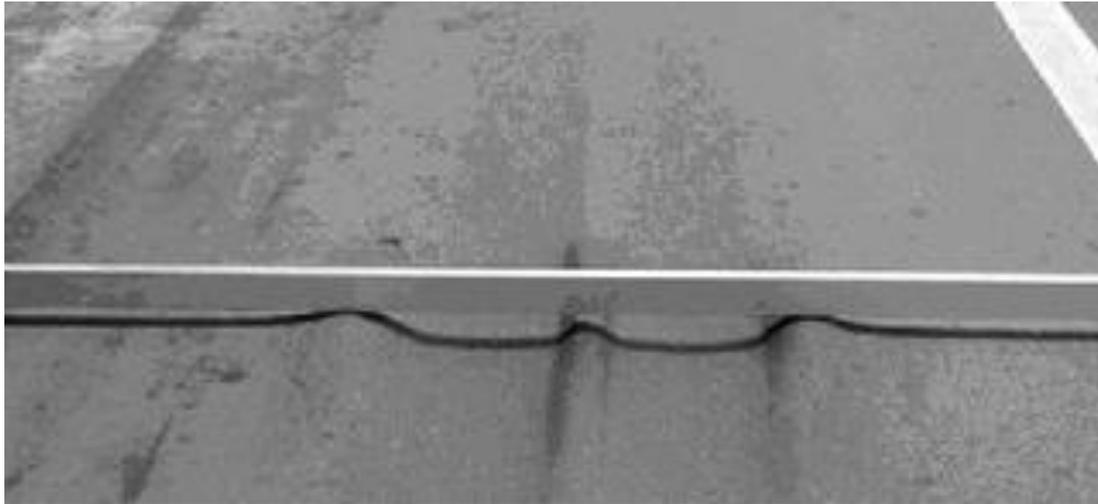
El desarrollo de nuevas tecnologías, que posibilite la construcción de carreteras con una vida útil más larga, dando la posibilidad de posponer alguna intervención de rehabilitación y una disminución en la frecuencia de las actividades de mantenimiento, se vuelve fundamental. Tratando de mejorar la calidad de los pavimentos asfálticos, se han utilizado asfaltos como el asfalto-caucho. La ventaja de aplicar este tipo de producto es que, debido a su mayor viscosidad, la mezcla brinda mayor resistencia a algunas fallas, como deformaciones permanentes y grietas por fatiga. Los mejores resultados se obtienen cuando se aplica asfalto-caucho en mezclas discontinuas, donde suele haber cierto aumento de la resistencia a la tracción, reducción del ruido del tráfico y aumento de la fricción, brindando un piso seguro y cómodo a los usuarios y reduciendo los costos de mantenimiento y rehabilitación. de pavimentos.

Las mezclas asfálticas discontinuas tienden a tener un mejor desempeño en términos de resistencia a la deformación permanente (debido al tamaño de los agregados), la aparición de grietas por fatiga y el desgaste (debido al mayor espesor del asfalto), en comparación con las mezclas asfálticas convencionales. Las mezclas asfálticas discontinuas están compuestas por alrededor del 70% de agregado grueso, lo que lleva a un mayor contacto piedra-piedra. Por eso se recomienda el uso de áridos triturados de alta calidad, buena microtextura y siempre vírgenes, es decir, no puede ser de pavimento reciclado.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

La deformación permanente puede presentarse en las diferentes capas que componen la estructura del pavimento, inclusive a nivel de la subrasante. Las causas que la originan son diversas. Es por ello que la elaboración de un proyecto de pavimentos asfálticos debe ser integral y muy cuidadosa en cuanto a la calidad de los materiales seleccionados, el diseño de la mezcla asfáltica y el diseño estructural del pavimento. Así, se hace necesario realizar un estudio detallado del tráfico, el tipo de suelos que conforman la subrasante, las condiciones de drenaje, el clima y otros factores externos como los procesos constructivos. En el Perú, como en otros países, la deformación permanente, en sus diferentes formas, es una de las fallas más importantes e incidentes en el comportamiento de los pavimentos asfálticos. Por ese motivo, es importante elaborar un estudio bibliográfico dirigido a identificar las principales causas que generan este tipo de falla, puesto que su conocimiento contribuirá a tomar las precauciones necesarias para evitar el deterioro prematuro de los pavimentos.



*Ilustración 1: Vista de ahuellamiento de la carpeta*

*Fuente: Revista Ingeniería - July 2011.*

Esta investigación titulada ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022, busca mejorar el desempeño frente al ahuellamiento de la carpeta asfáltica, a través de la modificación de la granulometría por la supresión de los tamaños intermedios.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo afecta la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso a la variación de las propiedades mecánicas y el desempeño de las mezclas asfálticas de granulometría alterada en Huancayo en 2022?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

1. ¿De qué manera varía la estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022?

2. ¿En qué porcentaje varía la resistencia a la humedad por inmersión compresión de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022?
3. ¿Cuál es el impacto en el desempeño del ahuellamiento de mezclas asfálticas de granulometría alterada al aplicar la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar el efecto en las propiedades mecánicas y desempeño de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Evaluar la variación en la estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.
2. Determinar en qué porcentaje varía la resistencia a la humedad por inmersión compresión de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.
3. Analizar el impacto en el desempeño del ahuellamiento de mezclas asfálticas de granulometría alterada, al aplicar la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.

### **1.4. Justificación e importancia**

#### **1.4.1. Justificación práctica**

Es práctica, pues se plantea una modificación de la curva granulométrica por la supresión progresiva de las partículas intermedias, con intención de

mejorar su desempeño ante el ahuellamiento. Por tal asegurar una mayor duración de la carpeta.

#### **1.4.2. Justificación económica**

Una carpeta con mejor comportamiento reduce los costos de mantenimiento y reparación. La investigación plantea un reacomodo de la granulometría a razón de obtener un mejor desempeño.

#### **1.4.3. Justificación metodológica**

Metodológicamente, la investigación propone incluir una metodología de preparación de mezclas más resistentes.

#### **1.4.4. Importancia**

La importancia de la investigación radica en la obtención de una mezcla con mejor desempeño y reducción de costos de mantenimiento, debido al mejor desempeño de la mezcla propuesta.

### **1.5. Delimitación de la investigación**

#### **1.5.1. Delimitación espacial**

Los materiales usados serán obtenidos en la ciudad de Huancayo, al igual que los ensayos.

#### **1.5.2. Delimitación temporal**

Se proyecta que la investigación se realizará desde octubre de 2022 a diciembre de 2022.

#### **1.5.3. Delimitación conceptual**

La delimitación conceptual se basa en la normativa nacional, que tiene como referencia al manual de especificaciones técnicas para la construcción de carreteras y de ensayos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

## **1.6. Hipótesis y descripción de variables**

### **1.6.1. Hipótesis General**

Las propiedades mecánicas y desempeño de mezclas asfálticas de granulometría alterada mejoran por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.

### **1.6.2. Hipótesis Específicas**

1. La estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas de granulometría alterada resultan óptimas por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.
2. La resistencia a la humedad por inmersión compresión de mezclas asfálticas de granulometría alterada varía en 20% al aplicar la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.
3. El nivel de ahuellamiento de mezclas asfálticas de granulometría alterada se reduce por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.

## **1.7. Variables**

### **1.7.1. Variable Independiente**

Supresión de los tamaños intermedios del árido grueso

### **1.7.2. Variable Dependiente**

Propiedades mecánicas y desempeño de mezclas asfálticas

## 1.8. Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de la variable

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO	ESCALA
VI: SUPRESIÓN DE TAMAÑOS INTERMEDIOS	La supresión es un procedimiento en el cual se restringe el porcentaje de peso retenido en los tamaños intermedios, mudando la granulometría a una curva similar a una SMA	La V1 se refiere a la supresión es un procedimiento en el cual se restringe el porcentaje de peso retenido en los tamaños intermedios, mudando la granulometría a una curva similar a una SMA	D1: Huso granulométrico  D2: % De supresión de tamaños intermedios	I1: MAC 01 I2: MAC 02 I3: MAC 03  I1: 5% I2: 10% I3: 20%	Ficha de recopilación de información	Razón
VD: PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	Referido a las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica tales como la resistencia a las cargas, a las deformaciones plásticas y a la fatiga ya sea por factores climatológicos y del tránsito	La V2 se operacionaliza mediante la medición de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica afectada por el estado de esfuerzos y la operacionalización de las: I1 Marshall, I2: Daño por humedad, I3: desempeño	D1: Marshall  D2: Daño por humedad  D3: Desempeño	I1: ESTABILIDAD Y FLUJO  D2: INMERSIÓN COMPRESIÓN  D3: AHUELLAMIENTO	Ficha de recopilación de información	Razón

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del Problema**

#### **2.1.1. Antecedentes Nacionales**

Según (Tueros Davila, 2017) en la tesis de pregrado titulada: “Incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional para mejorar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016”, investigada en la facultad de ingeniería de la Universidad Peruana los Andes, Huancayo – Junin, fijó como objetivo principal determinar el comportamiento en la superficie de rodadura ante el ahuellamiento generado por una carga vehicular en tramos de prueba de la mezcla asfáltica convencional mejorada con polvo de caucho.

Aplicando una metodología científica de acuerdo al investigador, obtuvo los resultados mediante la aplicación en un diseño de mezcla MAC 2 convencional comparado con mezclas alteradas adicionando 1%, 2% y 3% de polvo de caucho. Se obtuvieron muestras a partir de estas cuatro variaciones en la mezcla, donde se obtuvo un descenso en la estabilidad, un aumento del flujo, una mejora en la resistencia al desgaste por cántabro y una reducción en el ahuellamiento en los tramos de prueba a medida que se aumenta el porcentaje de polvo de caucho en la mezcla asfáltica. Finalmente, señala como conclusión que la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica investigada disminuye la deformación plástica en la superficie de la carpeta de rodadura. También mejora la resistencia al desgaste por cántabro a medida que se aumenta el porcentaje de polvo de caucho en la mezcla asfáltica, siendo de esta manera un antecedente que

aporta una forma de evaluar propiedades como ahuellamiento o desgaste al Cántabro con métodos más prácticos.

Según (Aguilar Velasquez, 2019) en la tesis de pregrado titulada: “Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y Superpave”, investigada en la facultad de ingeniería civil de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, fijó como objetivo principal comparar el desempeño por humedad de las mezclas asfálticas elaboradas con asfalto 85/100 bajo requerimientos granulométricos Marshall y Superpave, mediante el ensayo de TSR (Resistencia conservada por tracción indirecta) y el ensayo de rueda Hamburgo Wheel Track. Aplicando una metodología de la investigación no definida por el autor, obtuvo los resultados siguientes a través de la comparación de las mezclas asfálticas elaboradas por Marshall y Superpave, donde la estabilidad es mayor con la mezcla elaborada por MAC 01, el flujo es menor con la mezcla elaborada por Superpave, el ensayo de resistencia TSR es mejor con la mezcla MAC 01 y del mismo modo también es mejor la mezcla MAC en el desempeño ensayado con la rueda de Hamburgo. Finalmente señalando como conclusión que la mezcla asfáltica por MAC 01 bajo las condiciones específicas de la investigación realizada presentan una mayor resistencia de carga, mejor desempeño al ahuellamiento y una menor susceptibilidad a humedad en comparación con la mezcla Superpave, siendo de esta forma un antecedente que colabora con una forma de evaluar dos distintos diseños de mezclas asfálticas y comparándolos por su desempeño a la humedad inducida por dos ensayos, TSR y rueda cargada de Hamburgo.

Según (Estrada Escalante, 2017) en la tesis de pregrado titulada: “Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional Pen 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70-28”, investigada en la facultad de ingeniería y arquitectura de la Universidad Andina del Cusco, fijó como objetivos estudiar y evaluar el desempeño en las mezclas asfálticas convencionales con PEN 85/100 plus y mezclas modificadas con

asfalto con polímero SBS PG 70-28, con el objeto de compararlas en sus propiedades mecánicas, el desempeño que presenten, la resistencia a la deformación permanente y la resistencia a la fatiga. Aplicando una metodología hipotético- deductiva de tipo cuantitativa y con diseño experimental definido por el autor, obtuvo como resultados que la estabilidad mucho mayor con el diseño de mezcla elaborado con asfalto PG 70-28. El flujo se mantiene similar con ambos asfaltos, la resistencia a la deformación por Hamburgo Wheel Track a un número de pasadas programadas de 20000 ciclos presenta mayor resistencia la mezcla elaborada con asfalto PG 70-28 y de la misma forma este asfalto PG 70-28 también presenta mayor resistencia a la fatiga logrando recibir 3244490 ciclos en cámara de fatiga. Finalmente señala como conclusión que la mezcla asfáltica convencional se ve severamente afectada por agentes como el volumen de tránsito, exceso de cargas, factores climatológicos, entre otros, y el emplear una mezcla asfáltica modificada con polímero de tipo SBS mejora el desempeño de la mezcla asfáltica al presentar que su deformación permanente es cuatro veces superior y su resistencia a la fatiga diecisiete veces superior a la de un asfalto convencional, teniendo de esta forma un antecedente que propone una mejora en el desempeño de la mezcla asfáltica mediante la aplicación de un asfalto modificado con polímero SBS.

Según (Flores Gonzales, y otros, 2019) en la tesis de pregrado titulada: “Comportamiento de las mezclas asfálticas tibias adicionando tensoactivos y sus beneficios respecto a las mezclas asfálticas en caliente”, investigada en la facultad de ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Lima, fijó como objetivo principal analizar el comportamiento de una mezcla asfáltica tibia elaborada a base de tensoactivos para contrastar sus beneficios en comparación con una mezcla asfáltica en caliente convencional, por medio de la variación de la temperatura de compactación en el diseño propuesto. Aplicando un diseño experimental y con un tipo de investigación aplicada definido por el autor, se obtuvo los resultados a partir de la aplicación del PEN 60/70 modificado con tensoactivos, Zycotherm y Quimibond 3000 en mezclas asfálticas a distintas temperaturas, teniendo que la estabilidad se

conserva mejor a los 120°C con la aplicación de Zycotherm al 0.15% y el flujo se mantiene constante a los 120°C con los modificadores aplicados, cumpliendo en la mayoría de los ensayos con requerimientos mínimos y máximos de la normativa EG-2013. Finalmente, señala como conclusión que con la adición de Zycotherm o Qumibond 3000 en las mezclas asfálticas se puede reducir la temperatura de producción hasta los 130°C, a diferencia de una mezcla asfáltica en caliente convencional de 150°C, encontrando una reducción de costos, una menor emisión de gases y en consecuencia logrando mayores distancias de transporte, su aporte como antecedente radica en la forma de aplicación de los distintos aditivos para evaluar las propiedades de la mezcla asfáltica, resaltando algunas deficiencias y dificultades al momento de realizar el análisis correspondiente a la comparación propuesta entre las distintas mezclas evaluadas.

Según (Pilares Calla, 2018) en la tesis de pregrado titulada: “Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con fibras de polipropileno incorporada para condiciones de zonas de altura”, investigada en la facultad de ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, fijó como objetivo determinar el efecto que causa las fibras de polipropileno en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente para su aplicación en zonas de altura, de esta manera obtener la óptima dosificación de polipropileno que mejore la propiedades de la mezcla. Aplicando un diseño experimental y un tipo de investigación correlacional definido por el autor, se obtuvo los resultados a partir de adición de polipropileno a distintos porcentajes, de esta manera se evidencia que la resistencia de la mezcla asfáltica se incrementa a medida que se adiciona polipropileno como modificador y mantiene constante la deformación de la mezcla con ligeras variaciones, además se tiene también que se altera el óptimo contenido de asfalto, resultando un aumento de un 0.5% al adicionar polipropileno a la mezcla asfáltica. Finalmente, señala como conclusión que a un 0.6% de polipropileno como adición a la mezcla asfáltica se incrementa la estabilidad, al mismo tiempo se infiere que la adición de polipropileno genera una mayor absorción de asfalto en comparación con la mezcla asfáltica convencional y

la dosificación óptima de 0.6% de fibra de polipropileno aumenta en un 27.30% el índice de rigidez respecto de la mezcla asfáltica convencional, este antecedente colabora con técnicas factibles para encontrar una dosificación óptima de modificador dentro de una mezcla asfáltica.

### **2.1.2. Antecedentes Internacionales**

Según (Amaya Diaz, y otros, 2019) en la tesis de postgrado titulada: “Análisis del desempeño mecánico de las mezclas asfálticas tipo Stone Mastic (SMA) para aplicación como capa de rodadura en pavimentos de alto volumen de tránsito en Colombia”, investigada en la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de Colombia, Bogotá, fijó como objetivo analizar el desempeño mecánico de mezclas asfálticas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt) para poder aplicarla en carpetas de rodadura en Colombia, al mismo tiempo se plantea comparar los resultados obtenidos de la mezcla tipo SMA con una mezcla densa en caliente MDC 19. Aplicando una metodología basada en los protocolos AAMAC PA-CR 04/2015 de diseño definido por el autor obtuvo los resultados siguientes de acuerdo al análisis de tres distintas mezclas asfálticas elaboradas, donde los módulos que presenta la mezcla asfáltica tipo SMA son más bajos que los que presentan las mezclas asfálticas convencionales, pero la mezcla asfáltica SMA presenta un mejor comportamiento a la fatiga y un mejor comportamiento a la deformación plástica en comparación con las mezclas convencionales elaboradas con adición de polímeros SBS y sin adición de polímeros SBS. Este comportamiento logrado se contrastó en el análisis de deformación total del tramo de prueba evaluado, donde se mantuvo la mayor resistencia a la deformación plástica con la mezcla asfáltica tipo SMA. Finalmente, señala como conclusión que la combinación de agregados propuestos, se logra ajustar al huso granulométrico para una mezcla tipo B SMA, cumpliendo con lo requerido para tener un buen desempeño en climas con temperaturas medias anuales inferiores y superiores a 24°C. Corroborando de esta forma que las mezclas asfálticas tipo SMA pueden ser aplicadas como carpetas de rodadura en pavimentos de alto volumen de tránsito para Colombia, en base

a los resultados satisfactorios conseguidos. Este antecedente aporta información útil respecto de lo que se pretende investigar a partir de distintos tipos de mezcla.

Según (Ramadan Salim, 2019) en la tesis de postgrado titulada: "Parámetros del aglutinante asfáltico y su relación con las propiedades viscoelásticas lineales y de falla de las mezclas asfálticas", investigada en Arizona State University, una disertación presentada en cumplimiento de los requisitos para el grado de doctor, fijó como objetivo principal el facilitar la predicción del desempeño y daño de la mezcla asfáltica bajo condiciones de carga variables, para lo cual se plantea cuantificar la relación existente en las pruebas del aglutinante asfáltico viscoelástico no lineal con el daño producido en las mezclas asfálticas. Aplicando una metodología de investigación experimental de acuerdo a lo definido por el autor, se obtuvo los resultados siguientes para todos los aglutinantes de estudio en tres niveles de envejecimiento, es decir, original, RTFO y PAV, el módulo aumenta con el nivel de envejecimiento. De esta misma forma, se obtuvo que la extensión vertical entre las condiciones originales y envejecidas es mayor en el asfalto modificado con polímeros que en el asfalto modificado con polímeros. Estas observaciones visuales se pueden cuantificar utilizando el parámetro de relación de envejecimiento. Las mezclas modificadas con polímeros tenían predominantemente módulos más bajos que las mezclas no modificadas con polímeros. Finalmente señala como conclusión que la comparación de las relaciones de envejecimiento de los aglutinantes del mismo grado fue que las propiedades oxidativas de los aglutinantes dependen de la fuente y de la formulación. Un grado de PG similar no necesariamente equivale a propiedades oxidativas similares, como lo demuestran los diferentes valores de la relación de envejecimiento. Este antecedente aporta información útil respecto de parámetros de desempeño como el envejecimiento que guarda relación con factores directamente relacionados a los materiales disponibles, lo que se pretende investigar a partir de distintos tipos de mezcla.

Según (Baghaee Moghaddam, 2019) en la tesis de postgrado titulada: “Desarrollo de Tecnología de diseño en mezclas asfálticas de alto módulo para su uso en las carreteras de Ontario”, investigada en University of Waterloo, Canada, un estudio presentado en cumplimiento de los requisitos para el grado de doctor, fijó como objetivo principal el ayudar a MTO (Ministry of Transportation Ontario) con la transferencia y adopción de tecnología EME (Enrobé à Module Élevé) a Ontario en función de las condiciones de Ontario, que incluyen: condiciones climáticas y de tráfico, materiales disponibles y procedimientos de prueba utilizados actualmente. Aplicando una metodología no definida por el autor, se obtuvo los resultados siguientes para los tres tipos de ligantes asfálticos modificados empleados: PG 88-28, PG 82-28 y PG 58-28 modificado con aditivos elastómeros. Se designaron diferentes métodos de prueba de laboratorio para evaluar el rendimiento de las mezclas desarrolladas. Además de la prueba de compactabilidad giratoria, se llevaron a cabo una serie de pruebas termomecánicas para evaluar el rendimiento de la mezcla en diferentes niveles. Se utilizó la prueba de rodadura de la vía de rueda de Hamburgo para evaluar el rendimiento de las mezclas desarrolladas en términos de deformación permanente. La resistencia a la fatiga de las mezclas se evaluó en cuatro niveles de deformación diferentes utilizando una prueba de fatiga de la viga de flexión de cuatro puntos. Se realizó TSR para investigar la resistencia al agrietamiento a baja temperatura de las mezclas. Finalmente señala como conclusión que las mezclas habían mostrado una mayor compactabilidad que las mezclas Superpave convencionales cuando el contenido de huecos de aire de las mezclas era de alrededor del 2% en el número de giros de diseño. Además, los aglutinantes modificados mostraron que, entre los aglutinantes, el PG 88-28 modificado era el más denso y estaba conectado con fibrillas más gruesas, y que la microestructura de PG 58-28 + 10% de aditivos de elastómero consistía en fibrillas más delgadas con una estructura altamente entrelazada. Este antecedente aporta información útil respecto de la aplicación de distintos tipos de mezcla y su comportamiento con asfaltos modificados de diversas gradaciones PG.

Según (Espinoza Luque, 2018) en la tesis de postgrado titulada: "Evaluación en laboratorio de la durabilidad del ligante asfáltico utilizando el diseño de mezcla balance", investigada en University of Illinois, un estudio presentado en cumplimiento de los requisitos para el grado de maestría en ciencias de ingeniería civil, fijó como objetivo principal el ampliar la comprensión de cómo se pueden utilizar las pruebas basadas en el rendimiento para estudiar la durabilidad de la mezcla con respecto al potencial de formación de surcos y fisuras. Mediante el análisis de los efectos del envejecimiento a corto plazo en el rendimiento de la mezcla y evaluar la eficacia del uso de agentes de reciclaje como estrategia para mejorar la durabilidad del aire acondicionado. Aplicando una metodología de configuración experimental definida por el autor, se obtuvo los resultados siguientes donde las mezclas de COOEE (modelo de pavimento SMA) se distinguen por el aglutinante fuerte modificado con polímero, el alto contenido de asfalto y el tipo y la cantidad de relleno utilizado. Los ligantes utilizados en las nuevas mezclas se clasificaron como PG 82-16 en comparación con PG 64-28 utilizados en la mezcla de referencia (SMA). Además de que las mezclas de COOEE exhibieron valores excepcionalmente altos, sugiriendo baja susceptibilidad al agrietamiento. Además, ambas mezclas sufrieron bajas profundidades de surco después de 20.000 pasadas de HWTT, en comparación con SMA Ref; lo que indica una fuerte resistencia a la deformación permanente. Finalmente señala como conclusión que el tipo de mezcla SMA que presenta un buen desempeño frente a posibles surcos y propagación de grietas, lo que indica que los pavimentos construidos con estos materiales deben exhibir una durabilidad superior, ya que se esperaría un bajo agrietamiento y deformaciones permanentes. Además, hay pocos indicios de que las mezclas tengan un daño potencial por humedad, a un 6% en peso del ligante, aparentando ser la dosis óptima en cuanto al mejor desempeño de la mezcla. Este antecedente aporta información útil respecto de la aplicación de distintos tipos de mezcla SMA y su desempeño ante el daño inducido por distintos ensayos.

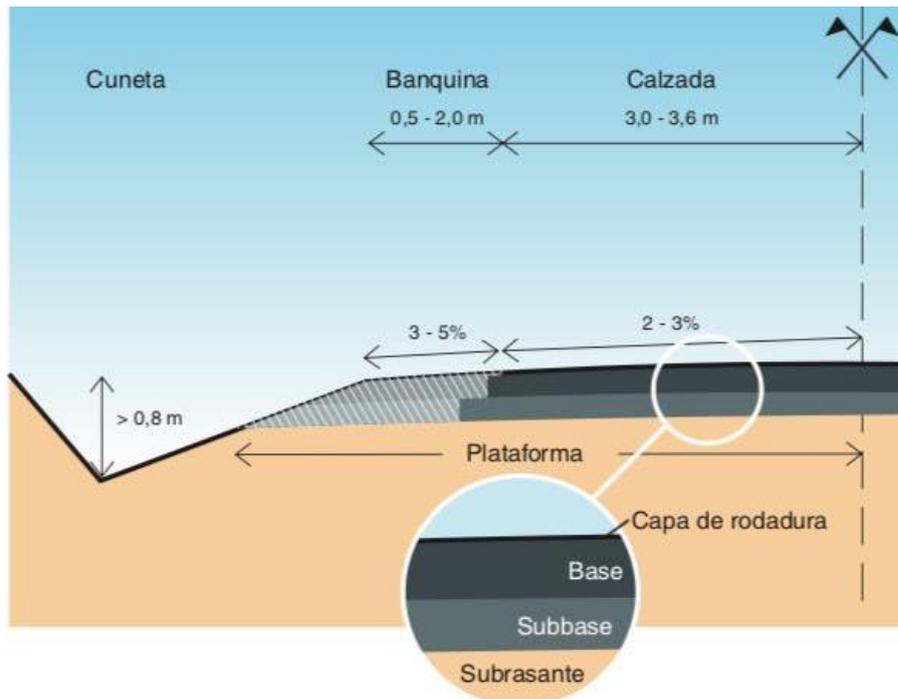
Según (Haslett, 2018) en la tesis de postgrado titulada: “Evaluación de índices de agrietamiento para mezclas asfálticas mediante pruebas SCB a diferentes temperaturas y velocidades de carga”, investigada en University of New Hampshire, Spring, fijó como objetivo principal el realizar una evaluación de los diversos índices de agrietamiento utilizando la salida de la prueba de fractura SCB que se realizó en un rango de temperaturas de prueba y combinaciones de tasas de carga. La investigación consiste principalmente en las comparaciones de las curvas de carga - desplazamiento y la clasificación de los índices de fisuración. Aplicando una metodología experimental de acuerdo a lo definido por el autor, se obtuvo los resultados siguientes donde a medida que la industria del asfalto cambia hacia un PPBS, existe un número creciente de índices de fisuración propuestos para evaluar el comportamiento de fractura de las mezclas de asfalto. Los efectos de la temperatura de prueba y la tasa de carga sobre el rendimiento de las mezclas es un paso fundamental en la implementación de las pruebas basadas en el rendimiento. Este estudio evaluó seis índices de agrietamiento diferentes utilizados para clasificar el desempeño de las mezclas asfálticas. Se probaron cinco mezclas diferentes con cantidades variables de grados RAP y PG a cuatro combinaciones diferentes de temperatura de prueba y tasa de carga. Finalmente señala como conclusión que existe una clasificación similar de mezclas usando carga lineal versus desplazamiento CMOD, pero la magnitud y la distinción entre mezclas varía significativamente con la temperatura. Se obtuvo también que el comportamiento de la pendiente posterior al pico tiene un impacto en la clasificación de las mezclas y debería incorporarse la consideración de la región climática en la selección de la combinación adecuada de temperatura de prueba y tasa de carga para la prueba de fractura. Este antecedente aporta información útil respecto de la evaluación específica de distintos tipos de fallas, dejando claro que el factor climático puede influir directamente en los distintos tipos de mezcla.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Estructura del pavimento asfáltico**

El propósito de la estructura del pavimento, como cualquier otro tipo de estructura, es transferir cargas deducidas y tensiones al suelo de manera segura. Por ejemplo, cuando un camión aplica una carga sobre la superficie del pavimento, esa carga se distribuye y transmite a través de las capas del pavimento al suelo. El término “flexible” en pavimentos asfálticos flexibles se ha adoptado de la propiedad de este tipo de estructura bajo carga. En pavimentos asfálticos flexibles, a diferencia de los pavimentos rígidos (cemento Portland), toda la estructura del pavimento se desvía o flexiona bajo carga. Una estructura de pavimento asfáltico flexible se compone típicamente de varias capas de materiales, cada una de las cuales recibe las cargas de la capa anterior, las esparce y luego las pasa a la subrasante. Por lo tanto, cuanto más abajo esté una capa en la estructura del pavimento, menor cantidad de carga (en términos de fuerza por área) debe soportar.

La capa superior en la estructura del pavimento asfáltico se llama carpeta de rodadura. La función de esta capa es proporcionar características como fricción, control del ruido, textura, resistencia y pendiente de drenaje. Dependiendo del tipo, también puede evitar la penetración de la humedad superficial en las subcapas. La capa superior de la estructura de pavimento asfáltico a veces se subdivide en dos capas de acuerdo al tipo de mezcla, se puede componer de una hilada de superficie (superior) y una hilada de aglutinante (inferior) como parte del paquete estructural del pavimento asfáltico.



*Ilustración 2: Paquete estructural del pavimento asfáltico por capas*

*Fuente: (Asphalt Institute MS - 22, 1992)*

Para proporcionar un pavimento asfáltico que cumpla con los atributos necesarios para su correcto funcionamiento, la mezcla asfáltica en caliente (HMA) se utiliza a menudo de forma convencional para constituir la carpeta de rodadura.

Por lo general, debajo de la carpeta de rodadura, se coloca la base granular. Esta base granular se puede construir con agregado chancado o HMA. El material de base está sujeto a esfuerzos cortantes más bajos que la carpeta de rodadura, lo que implica que el pavimento asfáltico debe tener una estabilidad interna más alta que la base granular para resistir fuerzas de corte más altas. Tradicionalmente, los materiales utilizados en la base granular han sido generalmente similares al material de la carpeta de rodadura, pero se puede disponer de materiales alternativos de acuerdo a criterios técnicos justificados. (Sanders y Nunn, 2005).

La tercera capa principal de la estructura del pavimento es la "subrasante". La colocación de la sub-base como capa de apoyo suele depender de la gravedad en la carga de tráfico.

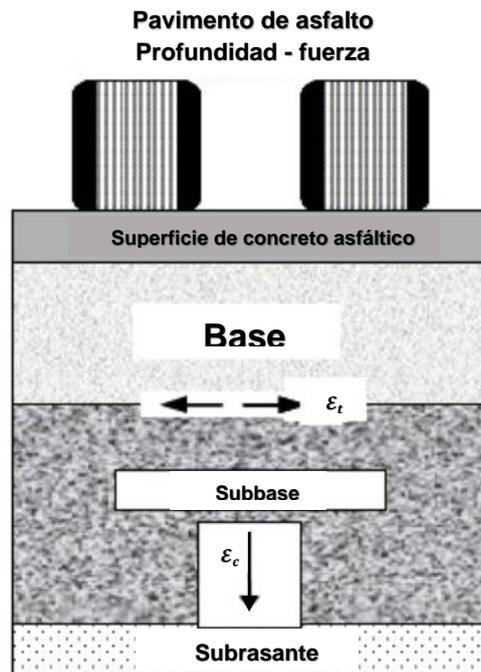
### **2.2.1.1. Esfuerzos según el tipo de pavimento**

Para lograr comprender cómo actúan los esfuerzos sobre cada una de las capas que conforma la estructura del pavimento, se ejemplifica mediante una comparación entre pavimento asfáltico y un pavimento rígido (cemento Portland), determinando el comportamiento de la transferencia de cargas a partir de un punto de aplicación. Al pasar una carga vehicular sobre un pavimento, se generan dos tipos de esfuerzos:

#### **Esfuerzos verticales o compresionales**

El comportamiento estructural que presentan los esfuerzos compresionales generados por las cargas vehiculares se distribuye sobre las capas del pavimento, proyectando que el esfuerzo compresional 1 ( $E_{c_1}$ ) llegue a la parte superior de la subrasante a un esfuerzo compresional 2 ( $E_{c_2}$ ) lo más cercano al cero posible. Este comportamiento ideal ante los esfuerzos compresionales evidencia un buen diseño sobre los espesores del paquete estructural de pavimento calculado.

Ante una posible transferencia de esfuerzos compresionales hacia la subrasante en valores importantes, podría generar fallas que se originarían en la subrasante que se proyectaría hacia la carpeta de rodadura, donde la mejor solución ante este problema sería la reconstrucción total del pavimento. Esto evidenciaría un mal cálculo de los espesores de las capas que componen al pavimento y/o un deficiente estudio de tráfico realizado. En la ilustración 3, se observa el fenómeno descrito.



*Ilustración 3: Esfuerzos compresionales*

*Fuente: (Asphalt Institute MS - 22, 1992)*

### **Esfuerzos horizontales o tensionales**

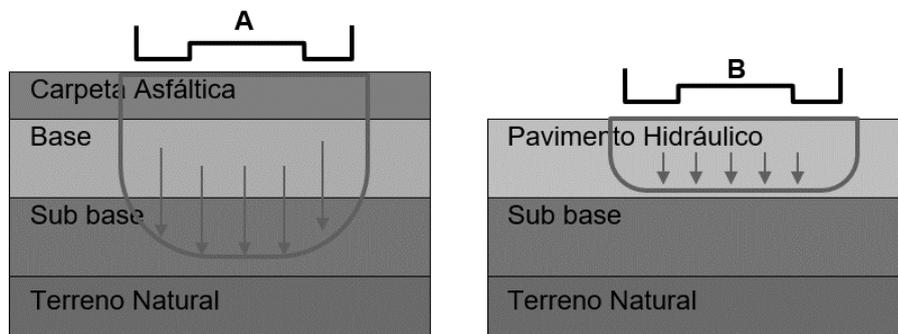
El comportamiento estructural que presentan los esfuerzos tensionales se presenta sólo en la carpeta de rodadura, debido a que los suelos o materiales granulares no trabajan a tensión haciendo que la base no aporte resistencia hacia los esfuerzos tensionales. Debido a este fenómeno, la carpeta de rodadura tiene que contar con el espesor suficiente para soportar este tipo de esfuerzos, haciendo que el esfuerzo tensional  $1(Et_1)$  llegue a la parte inferior de la carpeta de rodadura en un  $(Et_2)$  lo más próximo al cero posible.

En caso la carpeta no tenga el espesor suficiente, se generaría fisuramiento por fatiga entre la carpeta de rodadura y la base. Las fisuras generadas por fatiga tienden a extenderse hacia la superficie de la carpeta de rodadura debido al continuo paso de tráfico, por el fenómeno de reflexión de fisura.

Como alternativa de prevención ante las fisuras por fatiga, se puede colocar sobre la base una malla anti-fisura metálica embebido con Slurry

Seal que aporta resistencia ante los esfuerzos tensionales. En la figura 5, se observa el fenómeno descrito.

Es importante tener en cuenta también que los esfuerzos por cargas vehiculares se distribuyen de forma distinta por el tipo de pavimento en el que actúen, en el pavimento asfáltico existe una distribución de cargas en las capas de sub-base, base y carpeta de rodadura (A). En cambio, en el pavimento hidráulico, las cargas de tráfico son asumidas por concreto hidráulico de la capa superficial (B). Como se observa en la figura 6.



*Ilustración 4: Distribución de esfuerzos por tipo de pavimento*

*Fuente: (Asphalt Institute MS - 22, 1992)*

### **2.2.2. Mezclas asfálticas en caliente**

El asfalto de mezcla en caliente (HMA) es un material compuesto principalmente por partículas de agregado y ligante asfáltico o aglutinante. Por lo general, el 95% de la mezcla asfáltica (en peso) consiste en partículas agregadas y el 5% restante es cemento asfáltico. Por volumen, una mezcla asfáltica típica tiene un mayor porcentaje de agregado (75% - 85%), un porcentaje adecuado de ligante asfáltico (4% - 7%) y un porcentaje de vacíos de aire (3% - 5%). Las proporciones exactas se determinan mediante un análisis minucioso de las propiedades características resultantes, por lo que se emplean distintos métodos de diseño para garantizar un buen desempeño de mezcla. Dentro de sus componentes principales, es importante tener en consideración sus descripciones básicas.

Este fenómeno se produce debido a que al llevar el CAP PEN a temperaturas de 160°C, se comienzan a evaporar la fracción liviana que compone al asfalto, haciendo que se evaporen los máltenos y los aceites que dotan a la mezcla asfáltica en caliente de adherencia.

El envejecimiento prematuro se origina con la oxidación presente en el asfalto llevado a altas temperaturas, por lo que la manera de mejorar esta debilidad es manejar mezclas asfálticas tibias que mitiguen el envejecimiento a corto plazo, que es donde más envejece el asfalto.

### **2.2.2.1. Partículas de agregado**

El agregado conforma el esqueleto estructural del pavimento asfáltico como parte conformante de la mezcla asfáltica debido a la incidencia directa que tiene sobre la calidad de éste, teniendo una presencia en mayor porcentaje dentro de la composición de la mezcla es determinante las propiedades que lo caractericen, como su número de caras fracturadas, índice de durabilidad, absorción, resistencia a la abrasión, partículas chatas y alargadas. Cumpliendo los estándares de calidad de las propiedades de los agregados, se asegura una mezcla asfáltica estructuralmente estable para resistir el paso de las cargas de tráfico. Cuando los agregados son escamosos o alargados, se pueden triturar fácilmente bajo cargas de compactación o tráfico que afectarían el desempeño del HMA durante la vida útil del pavimento.

En la producción de HMA, se pueden utilizar diferentes tipos de agregados, como agregados naturales, agregados procesados, agregados sintéticos y de desecho. Los agregados naturales simplemente se extraen de depósitos fluviales o glaciares y se utilizan sin procesamiento adicional para fabricar HMA. Los agregados procesados se refieren a los agregados naturales que se han separado en fracciones de distintos tamaños, se han lavado, triturado o se han tratado de otro modo para mejorar ciertas características de rendimiento del HMA terminado. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los agregados procesados se extraen y el procesamiento principal consiste en la trituración y el calibrado. Los agregados sintéticos consisten en cualquier material que no se extrae ni se extrae y, en muchos casos,

representa un subproducto industrial. En este sentido, la escoria de alto horno es un ejemplo. Los productos de desecho se utilizan cada vez más como reemplazo de agregados en la estructura del pavimento. Las llantas de desecho y el vidrio son los dos productos de desecho más conocidos que se han utilizado con éxito en la construcción de pavimentos asfálticos (Huang et al., 2007).

Independientemente de la fuente, el método de procesamiento o la mineralogía, se espera que los agregados proporcionen un esqueleto de piedra fuerte para resistir aplicaciones de carga repetidas. Los agregados cúbicos de textura rugosa proporcionan más resistencia que los agregados redondeados de textura suave. A pesar de que una pieza cúbica y una pieza redondeada de agregado pueden poseer la misma resistencia inherente, las partículas de agregado cúbico tienden a unirse, lo que da como resultado una masa de material más fuerte. En lugar de unirse, las partículas de agregado redondeadas tienden a deslizarse unas sobre otras (Asphalt Institute, 2001).

### **2.2.3. Método de diseño para MAC - HMA**

Para clasificar una mezcla asfáltica por granulometría, es importante comprender métodos de diseño básicos, donde para fabricar una mezcla de asfalto duradera con un rendimiento aceptable, es necesario determinar con precisión parámetros como el tipo y fracción de agregado, el tipo y la cantidad de aglutinante de asfalto. Se han desarrollado y utilizado previamente diferentes métodos para el diseño de mezclas de HMA. Según la literatura, los tres métodos más conocidos son los procedimientos de diseño Marshall, Hveem y Superpave. (Chávez Céspedes, y otros, 2017)

Los métodos de diseño de mezcla de Marshall y Hveem se han utilizado ampliamente durante las últimas décadas. Cada procedimiento utiliza una serie de pruebas de laboratorio para seleccionar el contenido de asfalto óptimo. El método de diseño Hveem Mix fue desarrollado por Francis Hveem cuando era ingeniero residente en la División de Carreteras de California a finales de los años veinte y treinta. El medidor de estabilidad Hveem se utiliza en este método que mide la capacidad de la mezcla de asfalto para resistir

el movimiento lateral bajo una carga vertical. Este método se utiliza actualmente en varios estados del oeste (Superpave Fundamentals, 2000).

El procedimiento de diseño de mezcla Marshall ha sido adoptado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (USACE). El diseño de la mezcla Marshall consta de tres pasos principales, donde el primero sería la selección de agregados, luego selección de aglutinante de asfalto y finalmente la determinación del contenido óptimo de ligante asfáltico. Hoy en día, el método Marshall, a pesar de sus deficiencias, es probablemente el método de diseño de mezclas más utilizado en todo el mundo (Baghaee Moghaddam et al., 2015b). El compactador Marshall ha ido perdiendo popularidad en los laboratorios de pavimentos porque se basa en la caída del peso que no simula la compactación del campo (Tapkın y Keskin, 2013).

#### MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL (MAC)

El fundamento del método se basa en determinar combinaciones de los materiales que conforman la mezcla en proporciones exactas, teniendo como objetivo el determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método de Marshall también provee información sobre las propiedades de mezcla asfáltica en caliente, y establece contenidos óptimos de vacío y densidades que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El ensayo se realiza mediante elaboración de briquetas, para lo cual el primer paso es realizar una mezcla de agregado que cumpla con los requerimientos en los porcentajes de pasantes del tipo de MAC proyectado a diseñar (MAC-1, MAC-2 o MAC-3). Una vez obtenidos los porcentajes de agregados grueso y fino a emplear, se procede a la elaboración de briquetas con distintos porcentajes de asfalto en su composición, con la finalidad de analizar sus propiedades y determinar el óptimo porcentaje de asfalto que cumpla con los requerimientos de mezcla propuestos por la norma.

#### **2.2.4. Tipos de mezcla asfáltica**

El Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (SHRP) comenzó a reconocer nuevos sistemas granulométricos para mezclas asfálticas

especiales. De acuerdo con las características granulométricas, pueden llegar a clasificarse en densamente gradados, de granulometría abierta, de granulometría discontinua, y también de tamaño uniforme. (Asphalt Institute, 2001).

#### **2.2.4.1. Mezclas densas**

Se conforman a partir de agregados que contienen cantidades proporcionadas en todos los tamaños, es decir de agregado grueso a agregado fino, incluyendo al filler, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con una cantidad relativamente baja en vacíos. Las mezclas densamente gradadas tienen un gran número de puntos de contacto entre las partículas, que puede dar una alta resistencia friccional y reducir la posibilidad de trituración de las partículas en los puntos de contacto. Como el contenido de vacíos es bajo son poco permeables.

La tecnología de mezclas densas (Dense Graded Asphalt Technology) se producen con agregados de granulometría continua o bien (la curva de gradación no tiene ningún cambio de pendiente abrupto) y están destinadas para uso general. Por lo general, los agregados más grandes “flotan” en una matriz de masilla compuesta de cemento asfáltico y tamices / finos. Cuando se diseña y construye adecuadamente, una mezcla densa es relativamente impermeable. Las mezclas de granulometría densa generalmente se denominan por su tamaño de agregado máximo nominal. Además, pueden clasificarse como de grado fino o de grado grueso. Las mezclas de grado fino tienen partículas más finas y del tamaño de la arena que las mezclas de grado grueso.

Adecuado para todas las capas de pavimento y para todas las condiciones de tráfico. Funciona bien para necesidades estructurales, de fricción, nivelación y parcheo. A nivel nacional, es convencionalmente empleado bajo el método de Marshall (MAC) presentando una estructura granulométrica como se observa en la figura 10.



*Ilustración 5: Estructura granulométrica de una mezcla densa*

*Fuente: APANM Asphalt Pavement association of New Mexico*

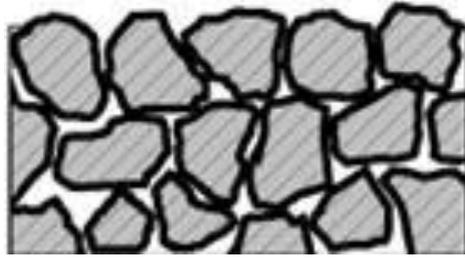
#### **2.2.4.2. Mezclas abiertas**

Se conforma de materiales con una gradación granulométrica incompleta, que contienen en comparación menos finos que las densas. El número de punto de contacto entre sus partículas es menor en las mezclas abiertas y por ello los esfuerzos entre partículas son superiores.

Se mezcla con agregados de tamaño relativamente uniforme tipificados por la ausencia de partículas de tamaño intermedio (la curva de gradación tiene una caída casi vertical en el rango de tamaño intermedio). Las mezclas típicas de esta estructura son el curso de fricción permeable, generalmente llamado "curso de fricción de grado abierto" (OGFC) y bases permeables tratadas con asfalto. Debido a su estructura abierta, se toman precauciones para minimizar el drenaje de asfalto mediante el uso de fibras y / o ligantes modificados. El contacto piedra sobre piedra con un recubrimiento de partículas de cemento asfáltico pesado tipifica estas mezclas. A nivel nacional no existe evidencia de algún tramo en particular trabajado con este tipo de mezcla, aunque existen diseños tipo CAD 12 que presenta una estructura granulométrica como se observa en la figura 11.

También existen las mezclas OGFC, que se utiliza solo para hiladas de superficie. Reducen las salpicaduras / salpicaduras de los neumáticos en climas húmedos y, por lo general, dan como resultado superficies más lisas que el HMA de grado denso. Sus altos vacíos de aire reducen el ruido de

los neumáticos en la carretera hasta en un 50 por ciento (10 dBA) (NAPA, 1995)



*Ilustración 6: Estructura granulométrica de una mezcla abierta*

*Fuente: APANM Asphalt Pavement association of New Mexico*

### **2.2.4.3. Mezclas discontinuas**

Se conforma por una mezcla de agregados que presentan discontinuidades o saltos en su gradación granulométrica. Las mezclas discontinuas utilizan una gradación de agregados con partículas que van de gruesas a finas con algunos tamaños intermedios faltantes o presentes en pequeñas cantidades. La curva de gradación puede tener una región "plana" que denota la ausencia de un tamaño de partícula o una pendiente pronunciada que denota pequeñas cantidades de estos tamaños de agregados intermedios. Estas mezclas también se caracterizan por el contacto piedra con piedra y pueden ser más permeables que las mezclas de gradación densa o altamente impermeables, como en el caso de Stone Matrix Asphalt (SMA), presenta una estructura granulométrica estrecha como se observa en la figura 12.



*Ilustración 7: Estructura granulométrica de una mezcla discontinua*

*Fuente: APANM Asphalt Pavement association of New Mexico*

La mezcla discontinua SMA (Stone Mastic Asphalt) se encuentra prescrita a detalle en la norma europea UNE EN 13108-5, regulada a parámetros

locales, ya que a menudo es necesario realizar un anexo adicional donde se consideren criterios normativos específicos al contexto geográfico donde se desempeñará. Las ventajas que ofrece sobre otros tipos de mezcla es que presenta una gran resistencia a intensos volúmenes de tráfico, aumenta la fricción entre pavimento – neumático, una gran durabilidad requiriendo un menor costo de mantenimiento, reduce el ruido producido por los neumáticos y un buen comportamiento en climas muy fríos (Álvarez Hernandez, 2015).

La mezcla discontinua BBTM (Beton Bitumineux Tres Minces) fue desarrollada en España para construcción de capas de rodadura delgadas en micro aglomerados, prescrita en el Artículo 543 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) (Costa, 2011). Este tipo de mezcla discontinua proporciona capas de rodadura con altas prestaciones y con muy buenas características en cuanto a resistencia a la fisuración, alta resistencia a deformaciones plásticas, alta durabilidad, reducida sonoridad, comodidad y seguridad.

Las gradaciones granulométricas de acuerdo con el tipo de mezcla se suelen traducir en curvas de características definidas, en la figura 13 se ejemplifica el comportamiento de cada una de estas mediante la aplicación de una muestra de diseño en específico, donde se tiene a la mezcla CBUQ como densa, SMA como mezcla discontinua y a la CPA como mezcla abierta.

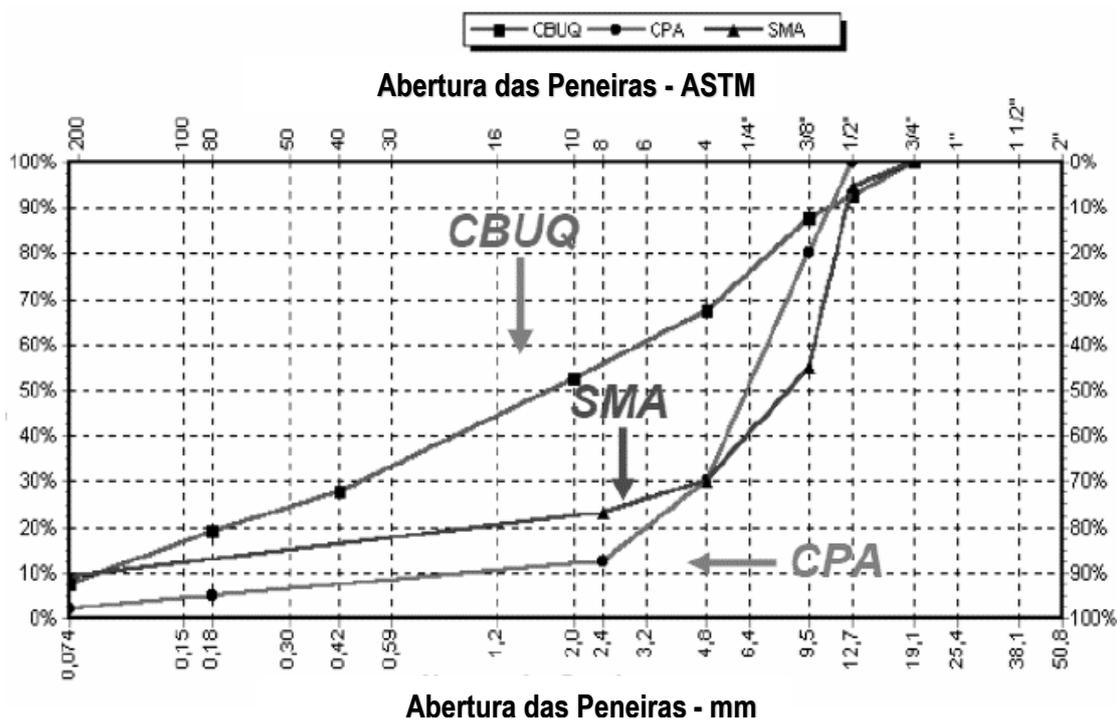


Ilustración 8: Diseños asfálticos por tipo de mezcla granulométrica

Fuente: Revestimientos asfálticos delgados Jorge Escalante Zegarra

### 2.2.5. Ensayos de desempeño

Los ensayos de desempeño se utilizan para relacionar el diseño de la mezcla de laboratorio con el rendimiento real en el campo. Los métodos de diseño de mezcla Hveem (estabilómetro) y Marshall (estabilidad y flujo) utilizan sólo una o dos pruebas de rendimiento básicas. Las pruebas de desempeño discutidas en esta sección son utilizadas por varios investigadores y organizaciones para complementar las pruebas existentes de Hveem y Marshall y proporciona servicios de pruebas de rendimiento que predicen el comportamiento potencial de una mezcla de asfalto. Esto permite comparar una mezcla con otra o se puede utilizar para comprender mejor cómo una variable puede cambiar el rendimiento de una mezcla.

#### 2.2.5.1. Resistencia a la deformación permanente

Un parámetro de rendimiento clave que puede depender en gran medida del diseño de la mezcla asfáltica en caliente. Por lo tanto, la mayoría de los esfuerzos de las pruebas de rendimiento se concentran en la predicción de

la resistencia a la deformación. Existen varios ensayos que pueden predecir la deformación en el pavimento, cada prueba se ha utilizado para predecir con éxito las características de deformación permanente de HMA; sin embargo, cada prueba tiene limitaciones relacionadas con la complejidad del equipo, el gasto, el tiempo, la variabilidad y la relación con los parámetros fundamentales del material, clasificados de la siguiente manera:

Ensayos de fluencia estática. Consiste en aplicar una carga estática a una muestra y mida cómo se recupera cuando se retira la carga. Aunque estas pruebas miden la deformación permanente de una muestra, los resultados de las pruebas generalmente no se correlacionan con las mediciones reales de formación de surcos del pavimento en servicio.

Ensayos de carga repetidos. Consiste en aplicar una carga repetida a una frecuencia constante a una muestra de ensayo durante muchas repeticiones (a menudo más de 1000) y mida la deformación permanente y la deformación recuperable de la muestra.

Ensayos de módulo dinámico. Consiste en aplicar una carga repetida a frecuencias variables a una muestra de ensayo durante un período de tiempo relativamente corto y mida la deformación permanente y la deformación recuperable de la muestra. Algunas pruebas de módulo dinámico también pueden medir el desfase entre la tensión máxima aplicada y la tensión máxima resultante, lo que proporciona información sobre las propiedades viscosas de un material.

Pruebas empíricas. Pruebas de diseño de mezclas tradicionales de Hveem y Marshall. Los resultados de las pruebas pueden correlacionarse bien con las mediciones de formación de deformaciones del pavimento en servicio, pero estas pruebas no miden ningún parámetro fundamental del material.

Pruebas de simulación. Dispositivos de seguimiento de ruedas de laboratorio. Los resultados de las pruebas pueden correlacionarse bien con las mediciones de formación de deformaciones del pavimento en servicio, pero estas pruebas no miden ningún parámetro fundamental del material.

Entre todos estos tipos de ensayos el más empleado es la rueda cargada de Hamburgo (HWT) desarrollada en Alemania, se utilizó para medir tanto el riesgo de formación de surcos como de desprendimiento. Si pasaba, las mezclas se aceptaban en Alemania con garantías de cinco años. Esta prueba fue adaptada por primera vez para los EE. UU. por Colorado DOT. Esta prueba se usa más ampliamente en el medio oeste y oeste de EE. UU.

#### **2.2.5.2. Susceptibilidad a la humedad**

Ciertas combinaciones granulométricas de agregados y ligantes asfálticos pueden ser susceptibles a daños por humedad. Se pueden utilizar varias pruebas de resistencia a la deformación y resistencia a la tracción para evaluar la susceptibilidad a la humedad de una mezcla de HMA.

Se han utilizado numerosas pruebas para evaluar la susceptibilidad de mezclas asfálticas en caliente a la humedad; sin embargo, hasta la fecha ninguna prueba ha obtenido una amplia aceptación (Roberts et al., 1996). De hecho, casi cualquier prueba de rendimiento que se pueda realizar en una muestra húmeda o sumergida se puede utilizar para evaluar el efecto de la humedad en el MAC comparando los resultados de la prueba de la muestra húmeda y seca. Superpave recomienda la prueba Lottman modificada como la prueba más apropiada en la actualidad y, por lo tanto, se describirá esta prueba.

La prueba de Lottman modificada básicamente compara los resultados de la prueba de resistencia a la tracción indirecta de una muestra seca y una muestra expuesta al agua. La muestra de mezcla asfáltica en caliente se somete a una saturación con una temperatura determinada, seguido de la obtención de resistencias a muestras secas y acondicionadas para encontrar la relación de resistencia a la tracción (AASHTO T 283, 2000a). Por lo general, se recomienda una TSR mínima de 0,70 para este método, aunque la normativa AASHTO MP 2 (Especificación para diseño de mezcla volumétrica Superpave) especifica un mínimo TSR de 0,80.

### **2.2.5.3. Resistencia a la fatiga**

Un parámetro clave de rendimiento que depende más del diseño estructural y del soporte de la subrasante que del diseño de la mezcla. Las propiedades del HMA que pueden influir en el agrietamiento se prueban en gran medida en las pruebas físicas del ligante de asfalto Superpave. Por lo tanto, generalmente, se presta menos atención al desarrollo de pruebas de rendimiento de vida en fatiga.

El ensayo de fatiga en viga de flexión de 4 puntos permite medir la flexibilidad de una mezcla generalmente a través de ciclos repetidos de deformación. Usado comúnmente para comprender la falla por fatiga, no se limita solo a la fatiga clásica del pavimento. Esta prueba también se utiliza para comprender la fragilidad de una mezcla en comparación con otras mezclas.

### **2.2.5.4. Resistencia a la tensión**

La resistencia a la tensión puede estar relacionada con el agrietamiento de las mezclas asfálticas en caliente, especialmente a bajas temperaturas. Las propiedades del MAC que pueden influir en el agrietamiento se ven afectadas en gran medida en las propiedades del ligante asfáltico. Por lo tanto, generalmente, se emplea para determinar la eficiencia de un asfalto modificado dentro de la mezcla propuesta. (Ramadan Salim, 2019)

## **2.3. Definición de Términos Básicos**

- **Surcos**

Es la deformación permanente producida en la superficie de un pavimento, asociada por lo general al aumento de la carga o a la rotura de granos en la estructura de la mezcla. También puede producirse por fallas en la subrasante por consolidación. (Jet Fuel Resistant Asphalt Binder in Taking Off, 2021)

- **Aditivos Antistripping**

Aditivos que mejoran la adhesión del betún y los agregados al reducir o eliminar la susceptibilidad a la humedad. También llamado aditivo de adhesión o revestimiento. (Aguilar Velasquez, 2019)

- Coeficiente de Poisson

La relación entre la deformación por contracción transversal y la deformación por extensión longitudinal en la dirección de la fuerza de estiramiento. Por lo general, se asume 0,35 para el asfalto. (Haslett, 2018)

- Ligante Modificado SBS

Ligante adicionado con polímeros tipo Estireno-butadieno-estireno con elastómeros termoplásticos. (Amaya Diaz, y otros, 2019)

- Volatilización del asfalto

El proceso de eliminación de fracciones volátiles más ligeras del aglutinante de asfalto debido al calentamiento a temperaturas elevadas. (Quiñones Paucar, 2017)

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Métodos y alcance de la investigación**

#### **3.1.1. Método de Investigación**

Según (Bernal Torres, 2010), la metodología de la investigación es una visión general de cómo se lleva a cabo una determinada investigación. Define las técnicas o procedimientos utilizados para identificar y analizar la información sobre un tema de investigación específico. En esta investigación, se aplicará la metodología científica mediante ensayos de Marshall que determinarán el comportamiento de la mezcla asfáltica densa y ensayos que determinen el nivel de intemperismo en la mezcla asfáltica densa.

#### **3.1.2. Nivel**

Según (Monje Álvarez, 2011), el nivel de investigación correlacional se refiere a los estudios que exploran y prueban las relaciones entre dos o más variables. Es bastante arriesgado sacar conclusiones de causa y efecto en este tipo de situaciones, sólo se pueden demostrar asociaciones o correlaciones entre variables. En la presente investigación, se busca analizar la correlación entre las variables de estudio, es decir, entre la granulometría modificada (supresión de los tamaños intermedios del árido grueso) y las propiedades mecánicas y desempeño de las mezclas asfálticas.

#### **3.1.3. Tipo**

Según (Carrasco Díaz, 2006), la investigación aplicada es un trabajo original realizado para adquirir nuevos conocimientos, dirigido a una meta u objetivo

práctico específico. Suele tener como objetivo discernir las posibles aplicaciones de los resultados de la investigación básica. En la presente investigación, se trabajará la investigación de tipo aplicada, debido a que se pretende brindar un aporte sobre la supresión de tamaños intermedios del agregado grueso para futuras elaboraciones de mezclas asfálticas, ya que sería más económico si se llegase a comprobar que las propiedades de la mezcla son óptimas.

### **3.2. Diseño de la investigación**

Según (Gomez Bastar, 2012), el diseño de investigación cuasiexperimental es una investigación realizada con un enfoque científico con al menos dos variables. La primera variable es una constante que puedes manipular para ver las diferencias causadas en la segunda variable. Esta investigación experimental le ayuda a reunir los datos que necesita para tomar mejores decisiones sobre la hipótesis. Se aplicará este diseño, ya que se manipularán las variables independientes, es decir, el porcentaje de supresión de tamaños intermedios del agregado grueso, y se determinará su influencia sobre la variable independiente, es decir, las propiedades y el desempeño al variar los porcentajes de supresión.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Según (González Castellanos, 2003) define la población como un universo que representa el total de una unidad de investigación que cuenta con ciertas características específicas. En esta investigación, la población será el material pétreo proveniente de las canteras de la ciudad de Huancayo.

#### **3.3.2. Muestra**

Según (Jimenez Paneque, 2002) indica que la muestra es un subgrupo representativo de un universo o población que cumple con determinadas especificaciones que reflejan una semejanza con el total que forma parte.

Para el presente estudio, se determina el material de la planta chancadora de Matahuasi, llegando a seleccionar 80 kg de agregado grueso y 100 kg de agregado fino, 30 kg serán de piedra de 3/4", 50 kg de piedra de 1/2", 50 kg de arena natural y 50 kg de arena chancada.

### **3.3.3. Muestreo**

Según (Baena Paz, 2014) indica que el muestreo define una técnica de disposición de la muestra que sugiera la forma indicada de estudiar un fenómeno. Para el presente estudio, se plantea un muestreo no probabilístico de corte transversal, ya que se seleccionará la muestra de la población específica, es decir, que la muestra seleccionada puede que no sea representativa de la cantera donde se extraerá el material y esta será ensayada sólo una vez, por lo que si es necesario repetir los ensayos se deberá elegir de nuevo el material y realizar sus respectivas caracterizaciones.

### **3.4. Técnicas de recolección de datos**

En el presente estudio, se propone que la técnica de recolección de datos para un correcto desarrollo de la investigación es la técnica de observación directa, debido a que se requiere realizar ensayos de laboratorio la propiedades mecánicas y desempeño de la mezcla.

### **3.5. Instrumento de análisis de datos**

En el presente estudio, se requiere como instrumento de análisis de datos se emplearán fichas de registro emanadas de ensayos de laboratorio necesarios para evaluar las propiedades mecánicas y desempeño de las mezclas asfálticas en caliente con granulometría alterada.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización Básica Materiales

#### 4.1.1. Selección de materiales – Agregados Gruesos

Con el objeto de llegar a suprimir los agregados intermedios dentro de un huso granulométrico correspondiente a las diversas opciones de diseño contempladas en la normativa nacional vigente, se presentan los materiales ineludibles para llegar a cada una de las gradaciones a realizar.

Dentro del material de clasificación gruesa, se presentan una serie de requerimientos en cumplimiento con las especificaciones granulométricas para agregados gruesos, por lo que el material que garantiza una calidad apropiada para su empleo se ubica en la planta chancadora de Matahuasi, como se aprecia en la siguiente ilustración 9.



*Ilustración 9: Fuente de agregados gruesos – Matahuasi*

*Fuente: Toma en la planta chancadora de Matahuasi – Río Seco*

Los materiales predispuestos para el diseño de mezcla asfáltica comprenden una particularidad granular a partir de los tamaños característicos, presentando, por ello, en la siguiente tabla 2 el análisis granulométrico del material grueso  $\frac{3}{4}$ " obtenido a partir de una planta chancadora de agregados.

*Tabla 2: Análisis granulométrico – Material grueso  $\frac{3}{4}$ " chancado*

MALLA		PESO	RET. ACUMULADO	PASANTE
TAMIZ	mm	(gr)	(%)	(%)
1"	25.400	0.00	0.00	<b>100.00</b>
3/4"	19.050	624.00	20.80	<b>79.20</b>
1/2"	12.700	931.80	51.86	<b>48.14</b>
3/8"	9.525	384.60	64.68	<b>35.32</b>
No4	4.763	321.30	75.39	<b>24.61</b>
No8	2.381	127.20	79.63	<b>20.37</b>
No10	1.905	62.70	81.72	<b>18.28</b>
No16	1.191	106.50	85.27	<b>14.73</b>
No30	0.595	77.70	87.86	<b>12.14</b>
No40	0.423	34.50	89.01	<b>10.99</b>
No50	0.298	85.80	91.87	<b>8.13</b>
No80	0.179	42.00	93.27	<b>6.73</b>
No100	0.149	57.60	95.19	<b>4.81</b>
No200	0.074	14.10	95.66	<b>4.34</b>
<N°200		130.20	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>3000.00</b>		

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

Sobre un análisis detallado realizado a 3000 gramos de material granular de clasificación gruesa, se procede a graficar en la siguiente ilustración 10, sobre el agregado de  $\frac{3}{4}$ " que presenta cantidades de material fino considerables que podría llegar a influir directamente en el huso al que se pretende llegar.

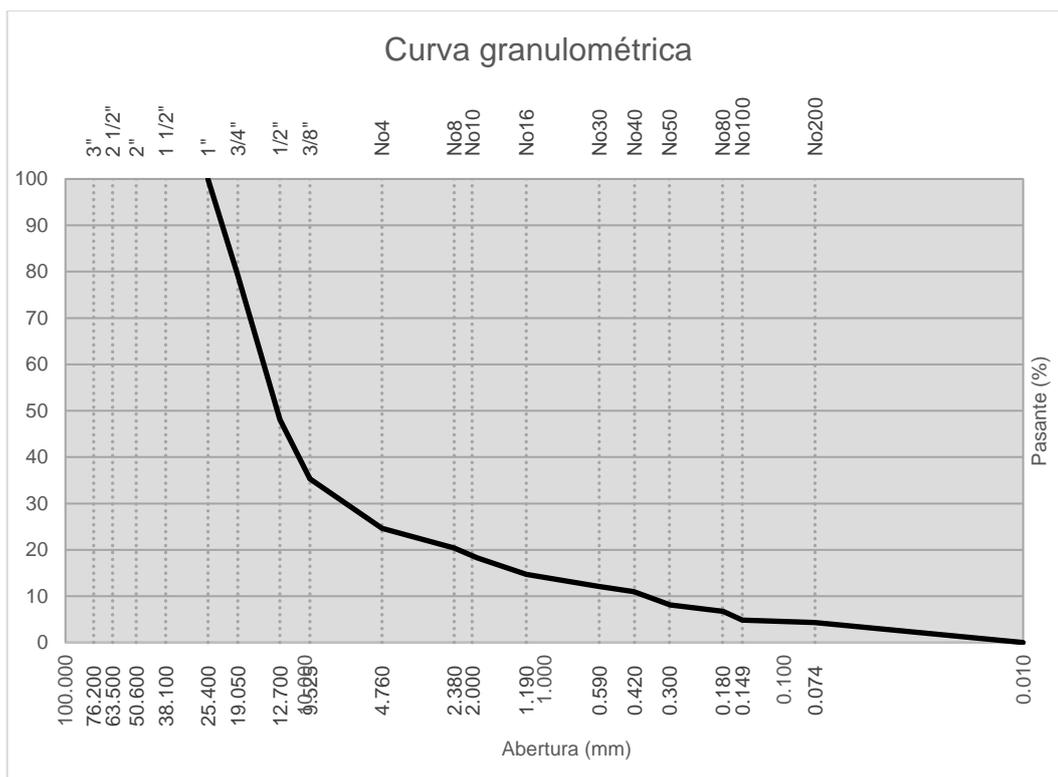


Ilustración 10: Curva granulométrica agregado grueso ¾" procesado

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

Los materiales predispuestos para el diseño de mezcla asfáltica comprenden una particularidad granular a partir de los tamaños característicos, presentando por ello en la siguiente tabla 3 el análisis granulométrico del material grueso ½" obtenido a partir de una planta chancadora de agregados.

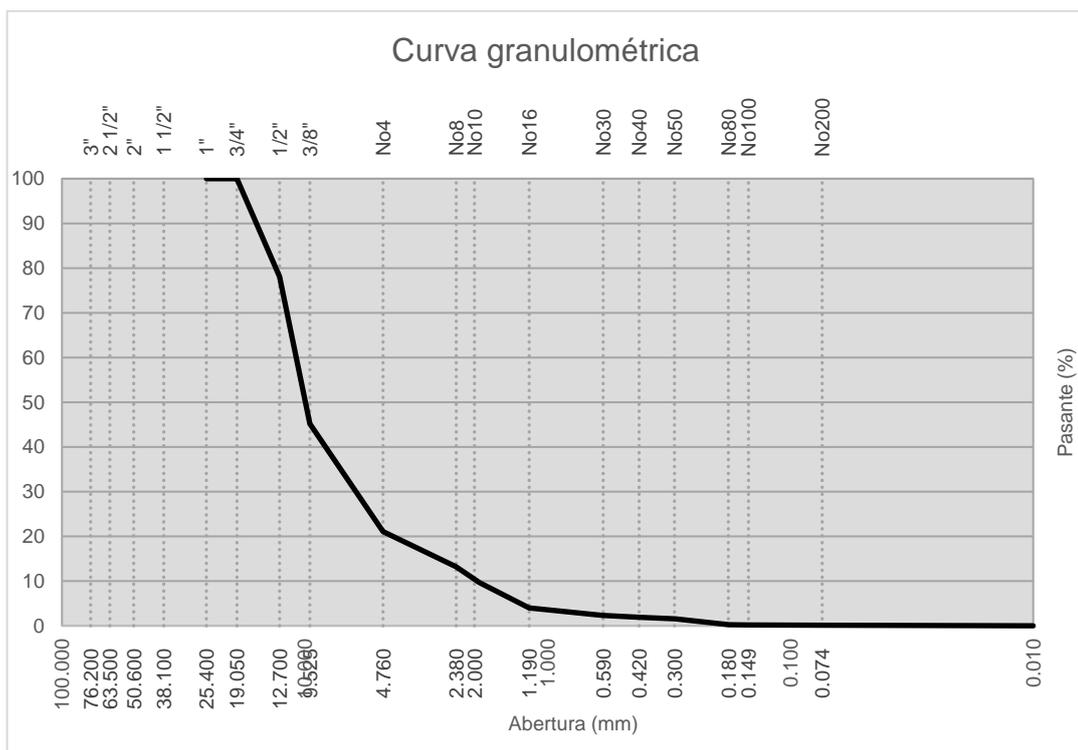
Tabla 3: Análisis granulométrico – Material grueso ½" chancado

MALLA		PESO	RET. ACUMULADO	PASANTE
TAMIZ	mm	(gr)	(%)	(%)
1"	25.400	0.00	0.00	<b>100.00</b>
¾"	19.050	0.00	0.00	<b>100.00</b>
½"	12.700	658.20	21.94	<b>78.06</b>
⅜"	9.525	987.00	54.84	<b>45.16</b>
No4	4.763	722.70	78.93	<b>21.07</b>
No8	2.381	235.80	86.79	<b>13.21</b>
No10	1.905	107.40	90.37	<b>9.63</b>

No16	1.191	169.50	96.02	<b>3.98</b>
No30	0.595	49.80	97.68	<b>2.32</b>
No40	0.423	12.30	98.09	<b>1.91</b>
No50	0.298	11.40	98.47	<b>1.53</b>
No80	0.179	39.30	99.78	<b>0.22</b>
No100	0.149	1.20	99.82	<b>0.18</b>
No200	0.074	2.10	99.89	<b>0.11</b>
<N°200		3.30	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>3000.00</b>		

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

Sobre un análisis detallado realizado a 3000 gramos de material granular de clasificación gruesa, se procede a graficar en la siguiente ilustración 11, sobre el agregado de 1/2" que presenta cantidades de material fino muy bajas a diferencia del agregado grueso de 3/4".



*Ilustración 11: Curva granulométrica agregado grueso 1/2" procesado*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

#### 4.1.2. Selección de materiales – Agregados Finos

Del material de clasificación fina, se presentan una serie de requerimientos en cumplimiento con las especificaciones normativas para agregados finos, por lo que el material que garantiza una calidad apropiada para su empleo se ubica en la planta chancadora de Matahuasi, como se aprecia en la siguiente ilustración 12.



*Ilustración 12: Fuente de agregados finos – Matahuasi*

*Fuente: Toma en la planta chancadora de Matahuasi – Río Seco*

Los materiales finos predispuestos para el diseño de mezcla asfáltica comprenden una particularidad granular a partir de los tamaños característicos (Nº4), presentando por ello en la siguiente tabla 4 el análisis granulométrico del material fino procesado obtenido a partir de una planta chancadora de agregados.

*Tabla 4: Análisis granulométrico arena – Material fino chancado*

MALLA		PESO	RET. ACUMULADO	PASANTE
TAMIZ	mm	(gr)	(%)	(%)
No4	4.763	294.30	19.62	<b>80.38</b>
No8	2.381	191.65	32.40	<b>67.60</b>
No10	1.905	120.50	40.43	<b>59.57</b>
No16	1.191	191.90	53.22	<b>46.78</b>
No30	0.595	169.35	64.51	<b>35.49</b>

No40	0.423	106.75	71.63	<b>28.37</b>
No50	0.298	92.55	77.80	<b>22.20</b>
No80	0.179	44.55	80.77	<b>19.23</b>
No100	0.149	123.90	89.03	<b>10.97</b>
No200	0.074	95.25	95.38	<b>4.62</b>
<N°200		69.30	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>1500.00</b>		

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

Sobre un análisis detallado realizado a 1500 gramos de material granular de clasificación fina, se procede a graficar en la siguiente ilustración 13, sobre el agregado procesado que presenta cantidades de material fino continuo a lo largo de su distribución granulométrica evaluada a través de distintos tamices.

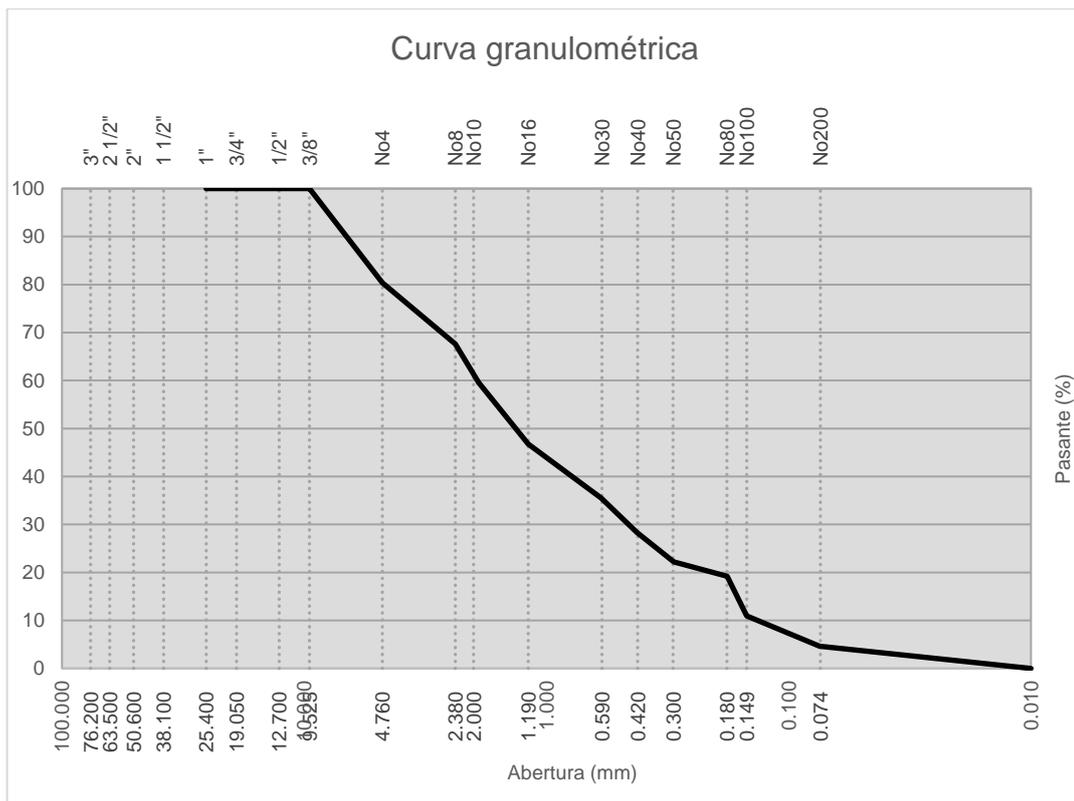


Ilustración 13: Curva granulométrica agregado fino procesado / arena

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

Los materiales predispuestos para el diseño de mezcla asfáltica comprenden una particularidad granular a partir de los tamaños característicos,

presentando por ello en la siguiente tabla 5 el análisis granulométrico del material fino zarandeado obtenido de forma natural de los márgenes del río seco Matahuasi.

*Tabla 5: Análisis granulométrico arena – Material fino natural*

MALLA		PESO	RET. ACUMULADO	PASANTE
TAMIZ	mm	(gr)	(%)	(%)
tm - N°4	4.763	250.20	16.68	<b>83.32</b>
tm - N°8	2.381	273.45	34.91	<b>65.09</b>
tm - N°10	1.905	190.20	47.59	<b>52.41</b>
tm - N°16	1.191	143.70	57.17	<b>42.83</b>
tm - N°30	0.595	100.80	63.89	<b>36.11</b>
tm - N°40	0.423	152.10	74.03	<b>25.97</b>
tm - N°50	0.298	191.40	86.79	<b>13.21</b>
tm - N°80	0.179	22.65	88.30	<b>11.70</b>
tm - N°100	0.149	75.90	93.36	<b>6.64</b>
tm - N°200	0.074	38.55	95.93	<b>4.07</b>
tm - <N°200		61.05	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>1500.00</b>		

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

Sobre un análisis detallado realizado a 1500 gramos de material granular de clasificación fina zarandeada, se procede a graficar en la siguiente ilustración 14, sobre el agregado fino natural que presenta cantidades de material fino balanceadas, obteniendo una distribución continua a lo largo de los distintos tamices empleados.

Con este análisis granulométrico, se termina de obtener los áridos para la correspondiente mezcla de agregados en cada uno de los husos proyectados a realizar.

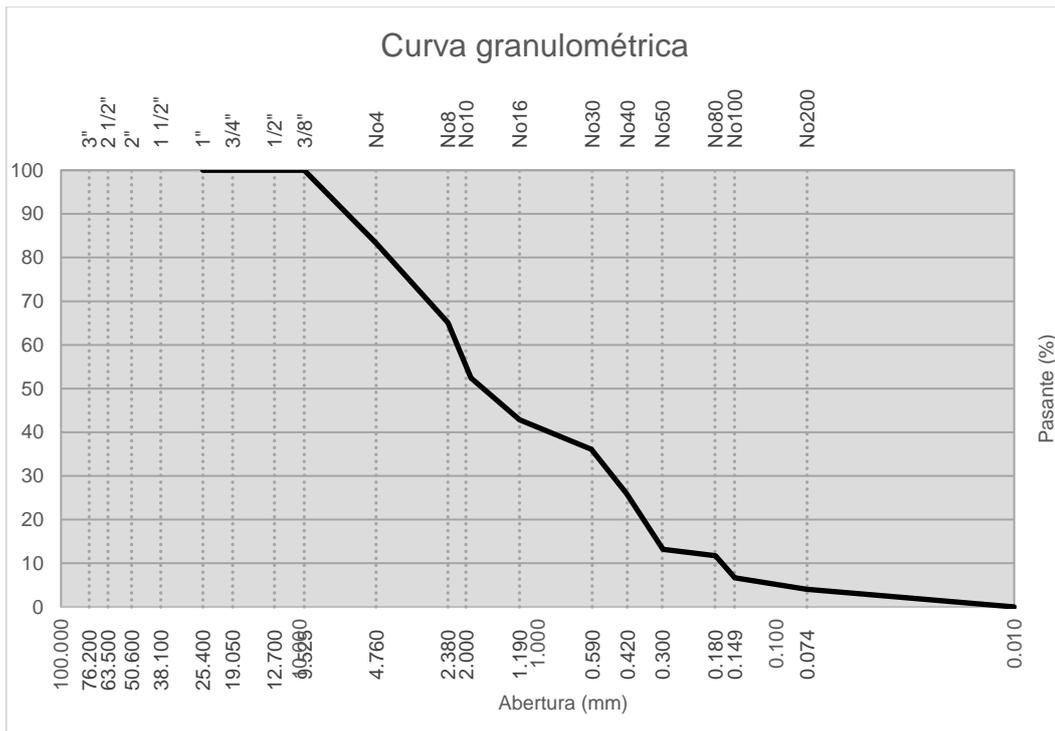


Ilustración 14: Curva granulométrica agregado fino natural / arena

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

#### 4.1.3. Selección de materiales – Filler

Con la finalidad de seleccionar un material fino apropiado para el diseño de mezclas asfálticas en caliente y al mismo tiempo generar un mastico asfáltico que predisponga las mejores propiedades patrón. Se tiene a la cal (ilustración 15) como material fino pasante de la malla N°200 que permitirá cumplir con las disposiciones granulométricas necesarias en el porcentaje adecuado.



Ilustración 15: Material fino aglomerante – Filler Cal

Fuente: Producción propia en Laboratorio de Mezclas Asfálticas

El filler predispuesto para el diseño de mezcla asfáltica comprende una particularidad granular a partir de los tamaños característicos (Nº200), presentando por ello en la siguiente tabla 6 el análisis granulométrico del filler seleccionado que cumple con las disposiciones granulométricas para cumplir la conformación de la mezcla final.

*Tabla 6: Análisis granulométrico filler – Cal*

MALLA		PESO	RET. ACUMULADO	PASANTE
TAMIZ	mm	(gr)	(%)	(%)
tm - N°4	4.763	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°8	2.381	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°10	1.905	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°16	1.191	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°30	0.595	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°40	0.423	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°50	0.298	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°80	0.179	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°100	0.149	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°200	0.074	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - <N°200		300.00	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>300.00</b>		

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

Sobre un análisis detallado realizado a 300 gramos de filler de clasificación fina, se procede a presentar en la siguiente ilustración 16 la distribución granulométrica de la cal, donde se puede llegar a comprobar que todo el material pasa por la malla Nº200.

La razón por la que se optó emplear la cal como filler es debido a que puede dotar a la mezcla de una adecuada resistencia, sin sobre rigidizar la mezcla asfáltica en caliente y además permite conformar un mastico asfáltico adecuado con los disimiles husos a los que pretende llegar.

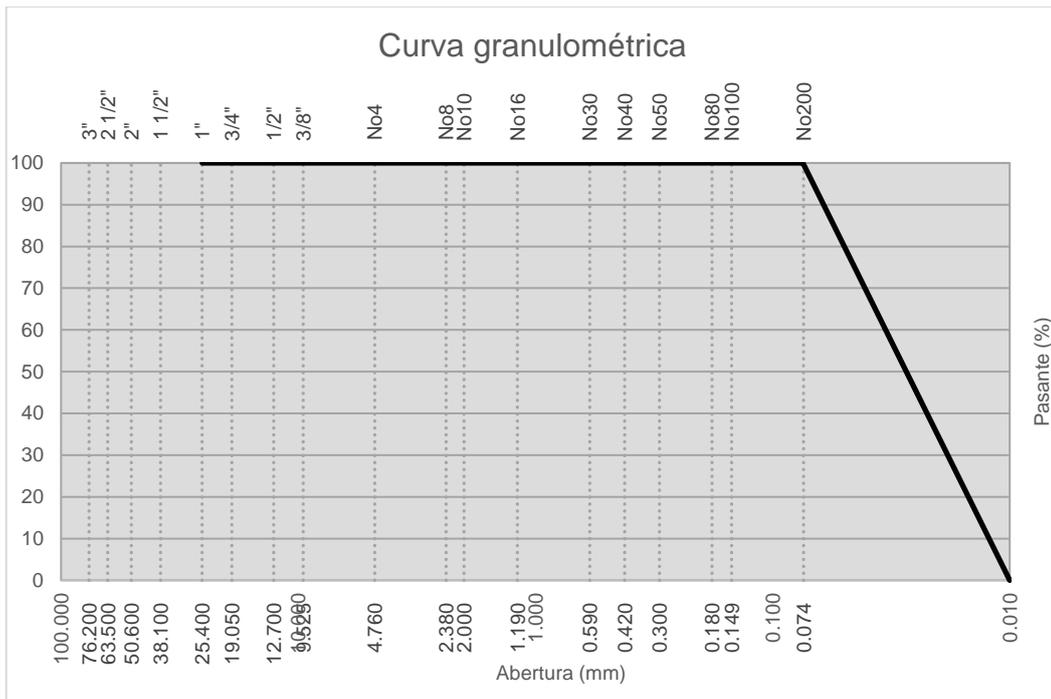


Ilustración 16: Curva granulométrica filler / Cal

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

#### 4.1.4. Selección de materiales – Ligante asfáltico

De acuerdo con la temperatura media correspondiente a Huancayo y con la finalidad de simular los diseños de mezcla en la región se opta por emplear un CAP PEN 85/100 como se presenta en la siguiente ilustración 17.



Ilustración 17: Ligante asfáltico CAP PEN 85/100 - Brima

Fuente: Producción propia en Laboratorio de Mezclas Asfálticas

En cumplimiento con las especificaciones técnicas para ligantes asfálticos se presenta en la siguiente tabla 7, las propiedades más representativas del CAP PEN 85/100 de acuerdo con su ficha técnica.

*Tabla 7: Ficha técnica resumen del CAP PEN 85/100*

<b>ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN</b>		
<b>ENSAYOS</b>	<b>ESPECIFICACIONES (a)</b>	
	<b>MÍN.</b>	<b>MÁX.</b>
<b>PENETRACIÓN</b>		
a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	85	100
<b>VOLATILIDAD</b>		
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232	
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar	
<b>DUCTILIDAD</b> a 25°C, 5 cm/min, cm	100	
<b>SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO,</b>		
% masa	99,0	
<b>SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA</b>		
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:		
Pérdida por calentamiento, % masa		1,0
Penetración retenida, % del original	47+	
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	75	
Índice de susceptibilidad térmica	-1	1
<b>FLUIDEZ</b>		
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	Reportar	
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	170	

*Fuente: Ficha Técnica CAP PEN 85/100 Brima*

## **4.2. Diseños de Mezcla Asfáltica Control**

### **4.2.1. Mezcla teórica – Diseño de Mezcla MAC 01**

Respecto de la mezcla teórica a cumplir por MAC 01, se requiere un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ " para cumplir con las especificaciones en porcentajes de pasantes respecto de la combinación de agregados, por ello en la siguiente tabla 8 se exhiben los porcentajes adecuados que permiten cumplir con el huso establecido.

Tabla 8: Mezcla Teórica MAC 01 - Porcentajes Establecidos

		AGREGADOS			
Malla	PIEDRAS		ARENAS		
Tamiz	Piedra	Piedra	Arena natural	Arena procesada	Cal hidratada
	3/4"	1/2"			
Porcentajes	3/4"	1/2"	NATURAL	PROCESADA	FILLER
	29.0%	30.0%	19.0%	21.0%	1.0%
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	79.20	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	48.14	78.06	100.00	100.00	100.00
3/8"	35.32	45.16	100.00	100.00	100.00
N°4	24.61	21.07	83.32	80.38	100.00
N°8	20.37	13.21	65.09	67.60	100.00
N°10	18.28	9.63	52.41	59.57	100.00
N°16	14.73	3.98	42.83	46.78	100.00
N°30	12.14	2.32	36.11	35.49	100.00
N°40	10.99	1.91	25.97	28.37	100.00
N°50	8.13	1.53	13.21	22.20	100.00
N°80	6.73	0.22	11.70	19.23	100.00
N°100	4.81	0.18	6.64	10.97	100.00
N°200	4.34	0.11	4.07	4.62	100.00
<N°200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

En función de un 29% de piedra de 3/4", 30% de piedra 1/2", 19% de arena natural, 21% de arena procesada y 1% de cal como filler se llega a cumplir en combinación los márgenes establecidos por el huso granulométrico MAC 01 como se puede observar en la siguiente tabla 9.

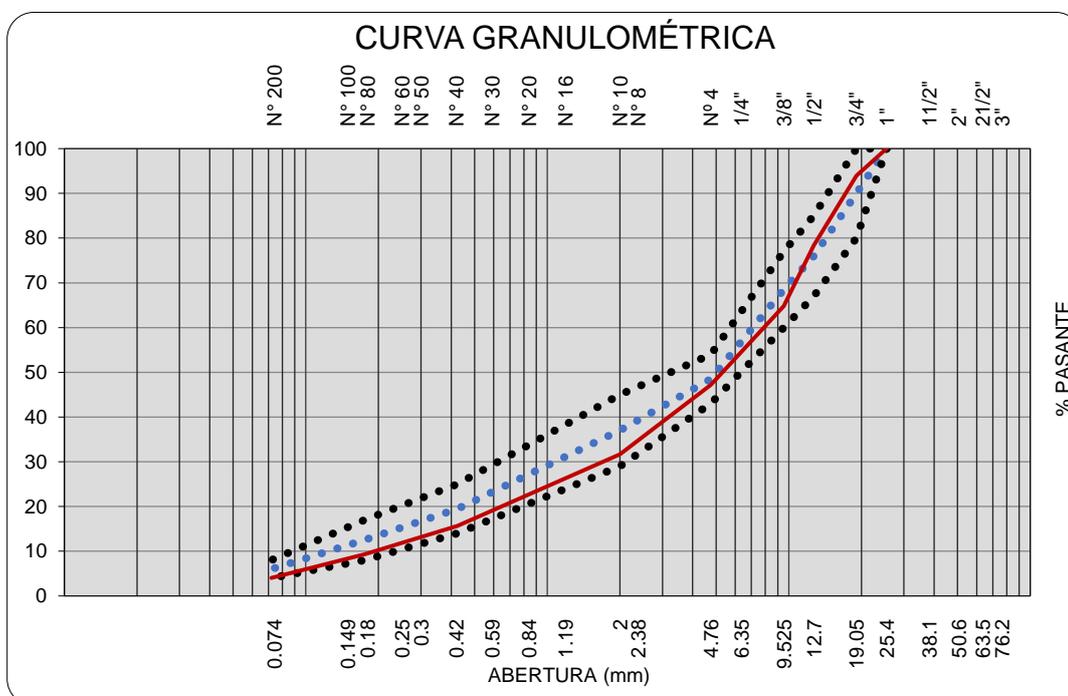
Tabla 9: Mezcla Teórica MAC 01 - Especificaciones Técnicas

Malla	MEZCLA	MAC - 1	Tamaño
Tamiz		MTC	máximo
			1/2"
Porcentajes	100.0%		Curva
			Ideal

1"	<b>100.0</b>	100	-	100	100
3/4"	<b>94.0</b>	80	-	100	90
1/2"	<b>78.4</b>	67	-	85	76
3/8"	<b>64.8</b>	60	-	77	69
N°4	<b>47.2</b>	43	-	54	49
N°8	<b>37.4</b>				
N°10	<b>31.7</b>	29	-	45	37
N°40	<b>15.7</b>	14	-	25	20
N°80	<b>9.3</b>	8	-	17	13
N°100	<b>6.0</b>				
N°200	<b>4.0</b>	4	-	8	6
<N°200	<b>0.0</b>				

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

Finalmente, se realiza la comprobación gráfica a partir del huso granulométrico en la siguiente ilustración 18 donde se puede apreciar que la curva resultante se encuentra de los márgenes establecidos. Al mismo tiempo se presenta la curva ideal resultante del promedio de los rangos establecidos para el MAC 01.



*Ilustración 18: Curva granulométrica MAC 01 - Control*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

#### 4.2.2. Mezcla teórica – Diseño de Mezcla MAC 02

Respecto de la mezcla teórica a cumplir por MAC 02, se requiere un tamaño máximo nominal de ½" para cumplir con las especificaciones en porcentajes de pasantes respecto de la combinación de agregados, por ello en la siguiente tabla 10 se exhiben los porcentajes adecuados que permiten cumplir con el huso establecido.

*Tabla 10: Mezcla Teórica MAC 02 - Porcentajes Establecidos*

		AGREGADOS			
Malla	PIEDRAS		ARENAS		
Tamiz	Piedra	Piedra	Arena natural	Arena procesada	Cal hidratada
	3/4"	1/2"			
Porcentajes	3/4"	1/2"	NATURAL	PROCESADA	FILLER
	0.0%	30.0%	33.0%	36.0%	1.0%
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	100.00	78.06	100.00	100.00	100.00
3/8"	100.00	45.16	100.00	100.00	100.00
N°4	100.00	21.07	83.32	80.38	100.00
N°8	100.00	13.21	65.09	67.60	100.00
N°10	100.00	9.63	52.41	59.57	100.00
N°16	100.00	3.98	42.83	46.78	100.00
N°30	100.00	2.32	36.11	35.49	100.00
N°40	100.00	1.91	25.97	28.37	100.00
N°50	100.00	1.53	13.21	22.20	100.00
N°80	100.00	0.22	11.70	19.23	100.00
N°100	100.00	0.18	6.64	10.97	100.00
N°200	100.00	0.11	4.07	4.62	100.00
<N°200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

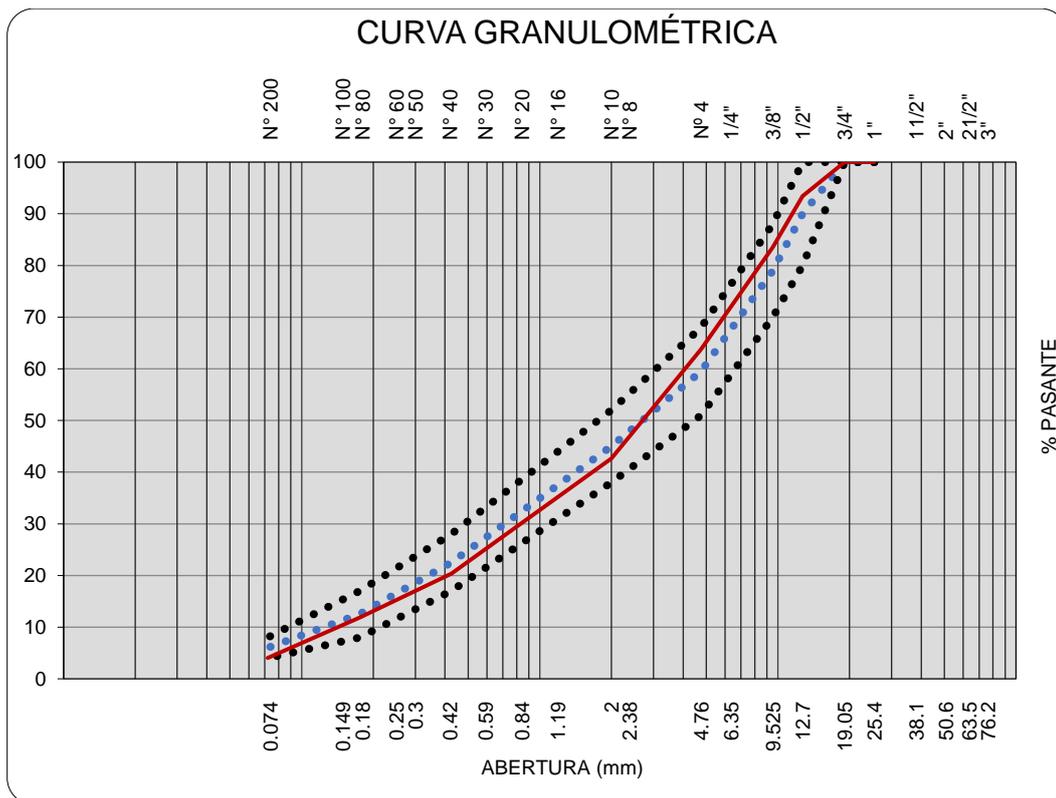
En función de un 30% de piedra ½", 33% de arena natural, 36% de arena procesada y 1% de cal como filler se llega a cumplir en combinación los márgenes establecidos por el huso granulométrico MAC 02 como se puede observar en la siguiente tabla 11.

Tabla 11: Mezcla Teórica MAC 02 - Especificaciones Técnicas

<b>Malla</b>	<b>MEZCLA</b>	<b>MAC - 2</b>			<b>Tamaño</b>
<b>Tamiz</b>		<b>MTC</b>			máximo
	<b>100.0%</b>				1/2"
<b>Porcentajes</b>					Curva
					Ideal
1"	<b>100.0</b>	100	-	100	100
3/4"	<b>100.0</b>	100	-	100	100
1/2"	<b>93.4</b>	80	-	100	90
3/8"	<b>83.5</b>	70	-	88	79
N°4	<b>63.8</b>	51	-	68	60
N°8	<b>50.8</b>				
N°10	<b>42.6</b>	38	-	52	45
N°16	<b>33.2</b>				
N°30	<b>26.4</b>				
N°40	<b>20.4</b>	17	-	28	23
N°50	<b>13.8</b>				
N°80	<b>11.8</b>	8	-	17	13
N°100	<b>7.2</b>				
N°200	<b>4.0</b>	4	-	8	6
<N°200	<b>0.0</b>				

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

Finalmente, se realiza la comprobación gráfica a partir del huso granulométrico en la siguiente ilustración 19 donde se puede apreciar que la curva resultante se encuentra de los márgenes establecidos. Al mismo tiempo se presenta la curva ideal resultante del promedio de los rangos establecidos para el MAC 02.



*Ilustración 19: Curva granulométrica MAC 02 - Control*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

### 4.3. Supresión de Tamaños Intermedios de Agregado Grueso

#### 4.3.1. Supresión Granulométrica – Diseño de Mezcla MAC 01

Con la finalidad de encontrar un punto de discontinuidad a partir del huso granulométrico convencional, se procede a suprimir los tamaños intermedios del agregado grueso correspondiente a la mezcla MAC 01. La supresión se realiza de forma teórica para conseguir un punto de discontinuidad en la malla N°4 y de esta forma darle una forma adecuada en comparación con especificaciones discontinuas de referencia.

En la siguiente tabla 12, se presentan las alteraciones granulométricas sobre la malla N°4 mediante una supresión de agregados gruesos al 20%, con lo cual el huso granulométrico MAC 01 genera ciertos cambios teóricos para generación de nuevos pesos que permiten la elaboración de muestras de mezcla asfáltica a ensayar, aumentando la demanda de asfalto de forma progresiva.

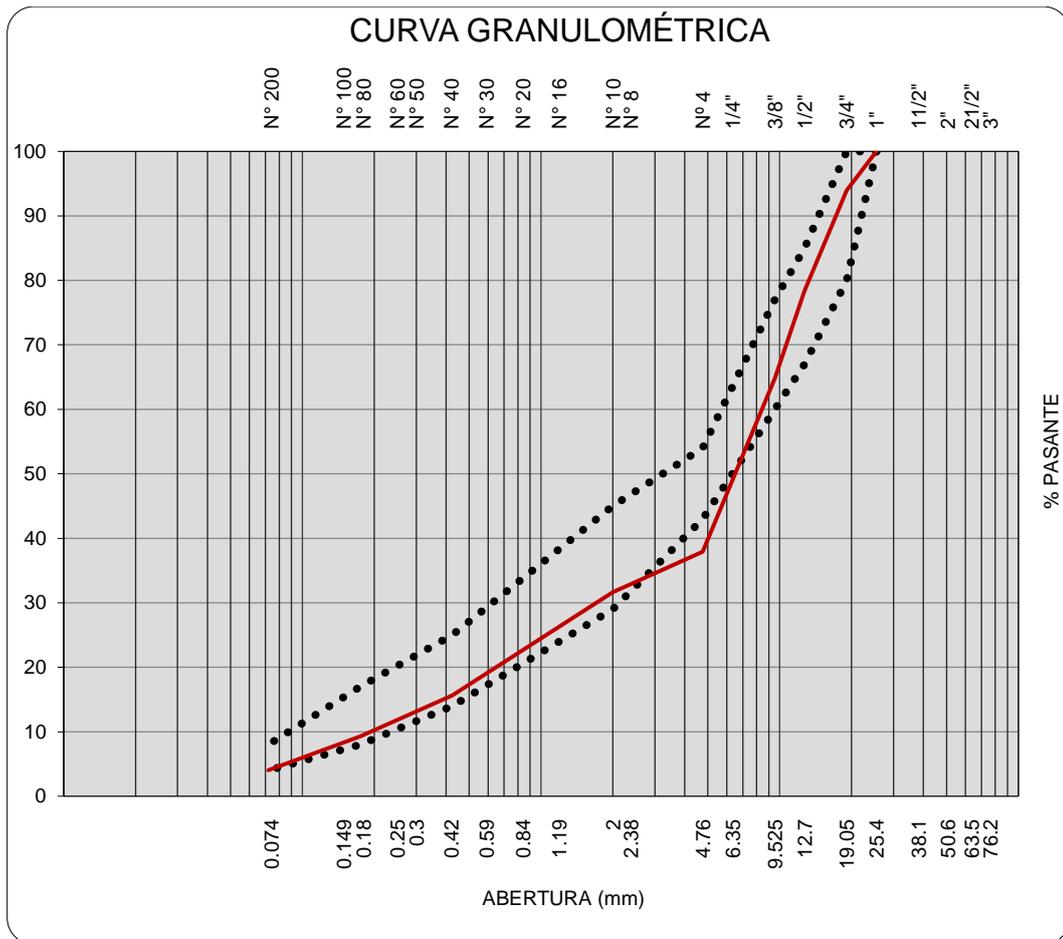
Tabla 12: Supresión de agregados gruesos al 20% - MAC 01

	AGREGADOS (20%)				
Malla	PIEDRAS		ARENAS		
Tamiz	Piedra	Piedra	Arena	Arena	Cal hidratada
	3/4"	1/2"	natural	procesada	
Porcentajes	3/4"	1/2"	NATURAL	PROCESADA	FILLER
	29.0%	30.0%	19.0%	21.0%	1.0%
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	79.20	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	48.14	78.06	100.00	100.00	100.00
3/8"	35.32	45.16	100.00	100.00	100.00
N°4	19.69	16.86	66.66	64.30	100.00
N°8	20.37	13.21	65.09	67.60	100.00
N°10	18.28	9.63	52.41	59.57	100.00
N°16	14.73	3.98	42.83	46.78	100.00
N°30	12.14	2.32	36.11	35.49	100.00
N°40	10.99	1.91	25.97	28.37	100.00
N°50	8.13	1.53	13.21	22.20	100.00
N°80	6.73	0.22	11.70	19.23	100.00
N°100	4.81	0.18	6.64	10.97	100.00
N°200	4.34	0.11	4.07	4.62	100.00
<N°200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

El comportamiento gráfico sobre la supresión de agregados gruesos al 20% genera que la curva granulométrica resultante se ubique por fuera de los márgenes establecidos por la normativa MAC 01. Se comienza a apreciar un ligero punto de discontinuidad sobre la malla N°4 en la ilustración 20.

Se mantienen los márgenes establecidos por el MAC 01 con la finalidad de establecer puntos de comparación en curva granulométrica alterada, en laboratorio se comienza a notar que para la elaboración de muestras es necesario emplear mayor cantidad de agregado grueso generando mayor desperdicio.



*Ilustración 20: Supresión de agregados gruesos al 20% - MAC 01*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

En la siguiente tabla 13, se presentan las alteraciones granulométricas sobre la malla N°4 y la malla N°10 mediante una supresión de agregados intermedios al 40%, con lo cual el huso granulométrico MAC 01 genera cambios teóricos para generación de nuevos pesos que permiten la elaboración de muestras de mezcla asfáltica, aumentando ligeramente el contenido de asfalto sobre la mezcla en comparación con la supresión de agregados al 20%.

*Tabla 13: Supresión de agregados gruesos al 40% - MAC 01*

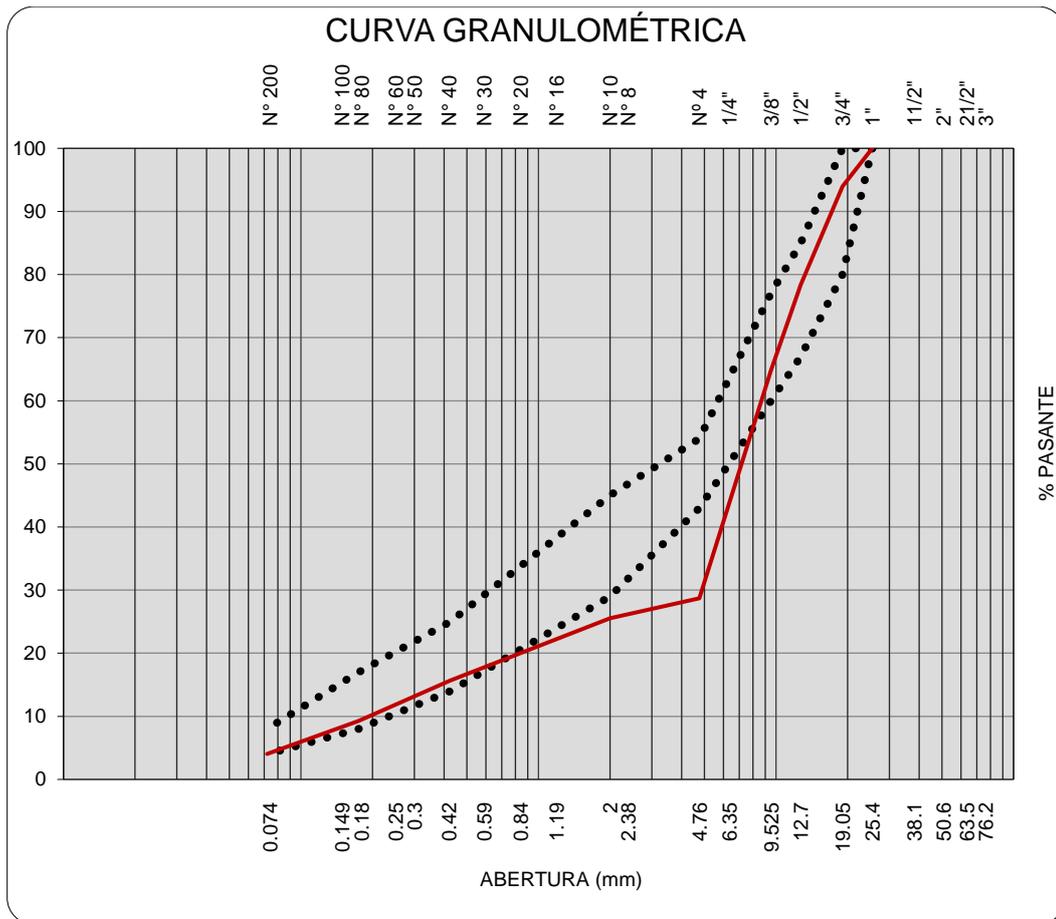
		AGREGADOS (40%)			
Malla	PIEDRAS		ARENAS		
Tamiz	Piedra	Piedra	Arena natural	Arena procesada	Cal hidratada
	3/4"	1/2"			
	3/4"	1/2"	NATURAL	PROCESADA	FILLER

<b>Porcentajes</b>	<b>29.0%</b>	<b>30.0%</b>	<b>19.0%</b>	<b>21.0%</b>	<b>1.0%</b>
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	79.20	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	48.14	78.06	100.00	100.00	100.00
3/8"	35.32	45.16	100.00	100.00	100.00
N°4	14.77	12.64	49.99	48.23	100.00
N°8	20.37	13.21	65.09	67.60	100.00
N°10	14.62	7.70	41.93	47.66	100.00
N°16	14.73	3.98	42.83	46.78	100.00
N°30	12.14	2.32	36.11	35.49	100.00
N°40	10.99	1.91	25.97	28.37	100.00
N°50	8.13	1.53	13.21	22.20	100.00
N°80	6.73	0.22	11.70	19.23	100.00
N°100	4.81	0.18	6.64	10.97	100.00
N°200	4.34	0.11	4.07	4.62	100.00
<N°200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

El comportamiento gráfico sobre la supresión de agregados gruesos al 40% genera que la curva granulométrica resultante que se ubica por fuera de los márgenes establecidos por la normativa MAC 01. Se comienza a apreciar un mayor punto de discontinuidad sobre la malla N°4 en la ilustración 21.

En comparación con el huso granulométrico anterior al 20 %, se comienza a requerir la alteración en mallas adicionales para mantener un punto de quiebre equilibrado, en laboratorio se comienza a notar que para la elaboración de muestras es necesario emplear mayor cantidad de agregado grueso generando mayor desperdicio y un mayor contenido de asfalto para la conformación de mezcla.



*Ilustración 21: Supresión de agregados gruesos al 40% - MAC 01*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

En la siguiente tabla 14, se presentan las alteraciones granulométricas sobre la malla N°4 y la malla N°10 mediante una supresión de agregados intermedios al 60%, con lo cual el huso granulométrico MAC 01 genera cambios teóricos para generación de nuevos pesos que permiten la elaboración de muestras de mezcla asfáltica, aumentando ligeramente el contenido de asfalto sobre la mezcla en comparación con la supresión de agregados al 40%.

*Tabla 14: Supresión de agregados gruesos al 60% - MAC 01*

		Agregados (60%)			
Malla	PIEDRAS		ARENAS		
Tamiz	Piedra	Piedra	Arena natural	Arena procesada	Cal hidratada
	3/4"	1/2"			
	3/4"	1/2"	NATURAL	PROCESADA	FILLER

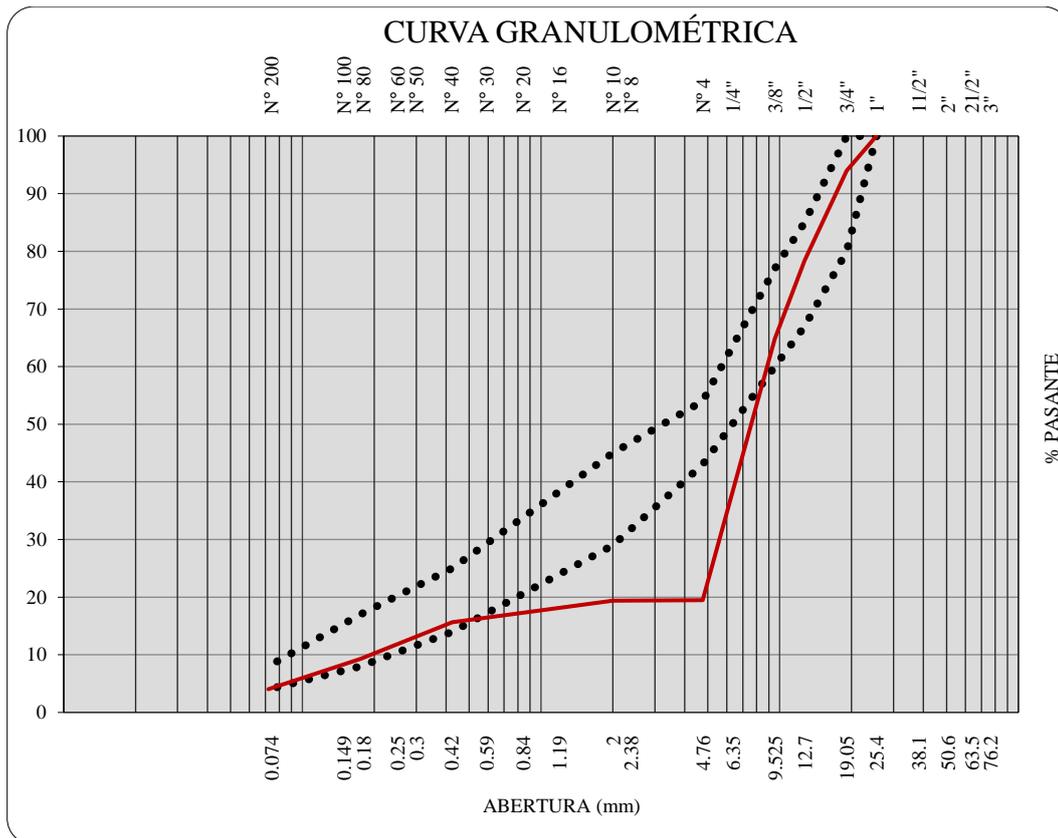
<b>Porcentajes</b>	<b>29.0%</b>	<b>30.0%</b>	<b>19.0%</b>	<b>21.0%</b>	<b>1.0%</b>
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	79.20	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	48.14	78.06	100.00	100.00	100.00
3/8"	35.32	45.16	100.00	100.00	100.00
N°4	9.84	8.43	33.33	32.15	100.00
N°8	20.37	13.21	65.09	67.60	100.00
N°10	10.97	5.78	31.45	35.74	100.00
N°16	14.73	3.98	42.83	46.78	100.00
N°30	12.14	2.32	36.11	35.49	100.00
N°40	10.99	1.91	25.97	28.37	100.00
N°50	8.13	1.53	13.21	22.20	100.00
N°80	6.73	0.22	11.70	19.23	100.00
N°100	4.81	0.18	6.64	10.97	100.00
N°200	4.34	0.11	4.07	4.62	100.00
<N°200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

El comportamiento gráfico sobre la supresión de agregados gruesos al 60% genera que la curva granulométrica resultante que se ubica por fuera de los márgenes establecidos por la normativa MAC 01. Se comienza a apreciar un mayor punto de discontinuidad sobre la malla N°4 en la ilustración 22.

En comparación con el huso granulométrico anterior al 40 %, se comienza a requerir mayores alteraciones en mallas adicionales para mantener un punto de quiebre equilibrado, en laboratorio se comienza a notar que para la elaboración de muestras es necesario emplear mayor cantidad de agregado grueso generando mayor desperdicio y un mayor contenido de asfalto para la conformación de mezcla.

Del mismo modo, se comienza a notar un mayor requerimiento de finos sobre la mezcla que compense el punto de discontinuidad alcanzado con este punto de supresión de 60% sobre el MAC 01.



*Ilustración 22: Supresión de agregados gruesos al 60% - MAC 01*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

#### **4.3.2. Supresión Granulométrica – Diseño de Mezcla MAC 02**

Con la finalidad de encontrar un punto de discontinuidad a partir del huso granulométrico convencional, se procede a suprimir los tamaños intermedios del agregado grueso correspondiente a la mezcla MAC 02. La supresión se realiza de forma teórica para conseguir un punto de discontinuidad en la malla N°4 y de esta forma darle una forma adecuada en comparación con especificaciones discontinuas de referencia.

En la siguiente tabla 15, se presentan las alteraciones granulométricas sobre la malla N°4 mediante una supresión de agregados gruesos al 20%, con lo cual el huso granulométrico MAC 02 genera cambios teóricos para generación de nuevos pesos que permiten la elaboración de muestras de mezcla asfáltica experimentales, aumentando ligeramente la demanda de asfalto de forma progresiva.

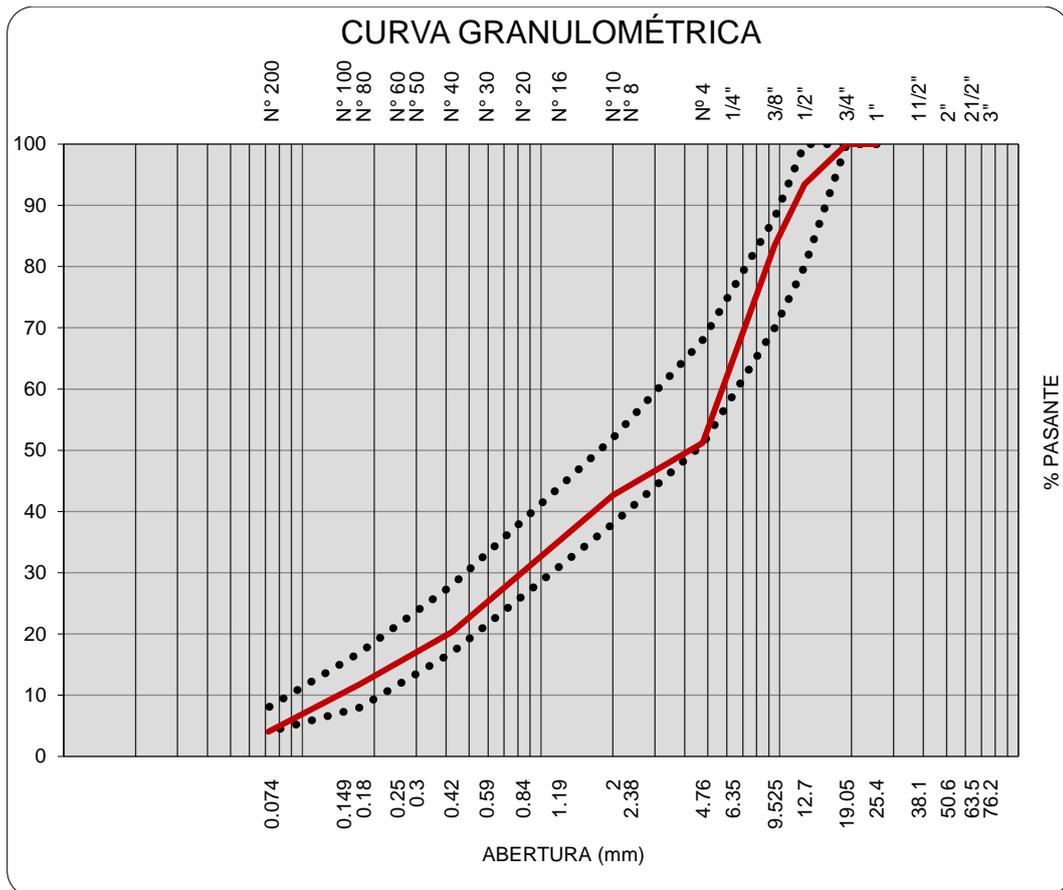
Tabla 15: Supresión de agregados gruesos al 20% - MAC 02

AGREGADOS (20%) MAC 02					
Malla	PIEDRAS		ARENAS		
Tamiz	Piedra	Piedra	Arena	Arena	Cal
	3/4"	1/2"	natural	procesada	hidratada
Porcentajes	3/4"	1/2"	NATURAL	PROCESADA	FILLER
	0.0%	30.0%	33.0%	36.0%	1.0%
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	79.20	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	48.14	78.06	100.00	100.00	100.00
3/8"	35.32	45.16	100.00	100.00	100.00
Nº4	19.69	16.86	66.66	64.30	100.00
Nº8	20.37	13.21	65.09	67.60	100.00
Nº10	18.28	9.63	52.41	59.57	100.00
Nº16	14.73	3.98	42.83	46.78	100.00
Nº30	12.14	2.32	36.11	35.49	100.00
Nº40	10.99	1.91	25.97	28.37	100.00
Nº50	8.13	1.53	13.21	22.20	100.00
Nº80	6.73	0.22	11.70	19.23	100.00
Nº100	4.81	0.18	6.64	10.97	100.00
Nº200	4.34	0.11	4.07	4.62	100.00
<Nº200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

El comportamiento gráfico sobre la supresión de agregados gruesos al 20% genera que la curva granulométrica resultante se ubique por fuera de los márgenes establecidos por la normativa MAC 02. Se comienza a apreciar un ligero punto de discontinuidad sobre la malla Nº4 en la ilustración 23.

Se mantienen los márgenes establecidos por el MAC 02 con la finalidad de establecer puntos de comparación en curva granulométrica alterada, en laboratorio se comienza a notar que para la elaboración de muestras es necesario emplear mayor cantidad de agregado grueso generando mayor desperdicio al igual que con las pruebas del MAC 01.



*Ilustración 23: Supresión de agregados gruesos al 20% - MAC 02*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

En la siguiente tabla 16, se presentan las alteraciones granulométricas sobre la malla N°4 y la malla N°10 mediante una supresión de agregados intermedios al 40%, con lo cual el huso granulométrico MAC 02 forma cambios teóricos para generación de nuevos pesos que permiten la elaboración de muestras de mezcla asfáltica, aumentando ligeramente el contenido de asfalto sobre la mezcla en comparación con la supresión de agregados al 20%.

*Tabla 16: Supresión de agregados gruesos al 40% - MAC 02*

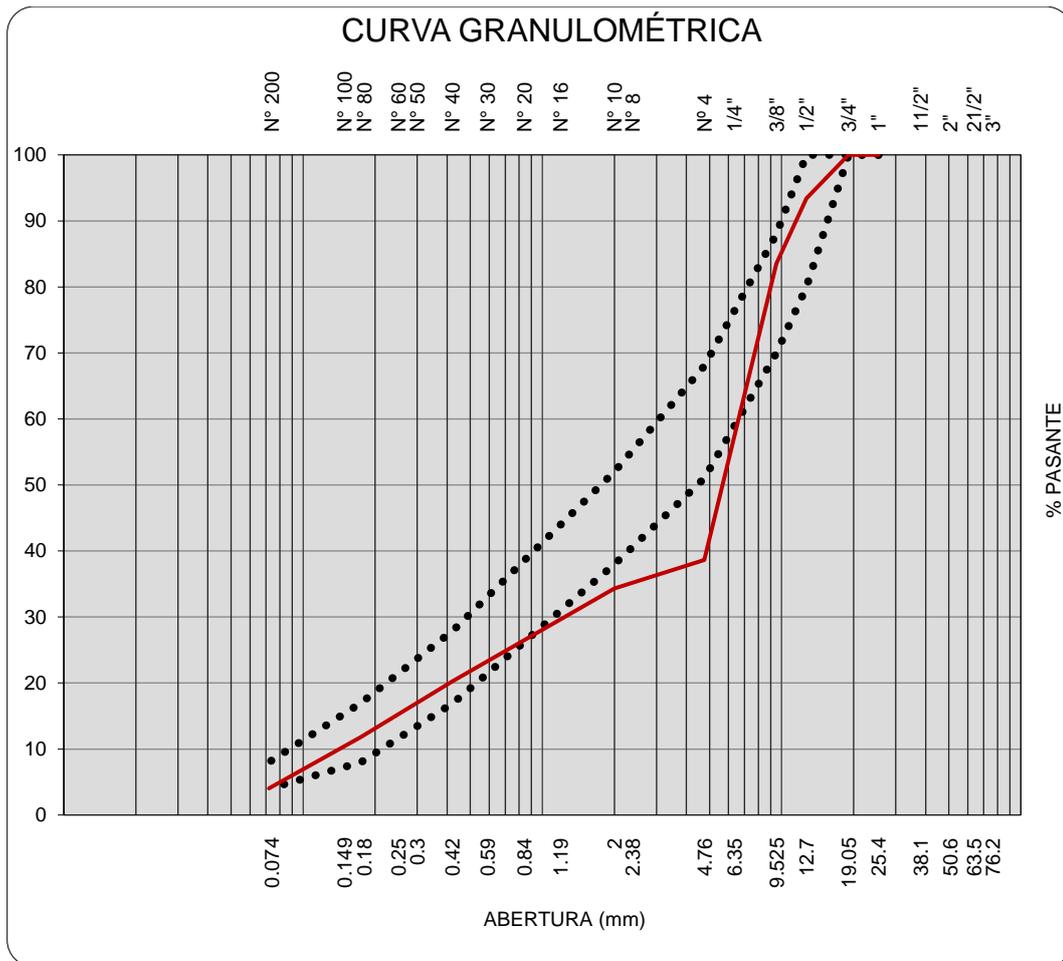
AGREGADOS (40%) MAC 02					
Malla	PIEDRAS		ARENAS		
Tamiz	Piedra	Piedra	Arena natural	Arena procesada	Cal hidratada
	3/4"	1/2"			
	3/4"	1/2"	NATURAL	PROCESADA	FILLER

<b>Porcentajes</b>	<b>0.0%</b>	<b>30.0%</b>	<b>33.0%</b>	<b>36.0%</b>	<b>1.0%</b>
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	79.20	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	48.14	78.06	100.00	100.00	100.00
3/8"	35.32	45.16	100.00	100.00	100.00
N°4	14.77	12.64	49.99	48.23	100.00
N°8	20.37	13.21	65.09	67.60	100.00
N°10	14.62	7.70	41.93	47.66	100.00
N°16	14.73	3.98	42.83	46.78	100.00
N°30	12.14	2.32	36.11	35.49	100.00
N°40	10.99	1.91	25.97	28.37	100.00
N°50	8.13	1.53	13.21	22.20	100.00
N°80	6.73	0.22	11.70	19.23	100.00
N°100	4.81	0.18	6.64	10.97	100.00
N°200	4.34	0.11	4.07	4.62	100.00
<N°200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

El comportamiento gráfico sobre la supresión de agregados gruesos al 40% genera que la curva granulométrica resultante que se ubica por fuera de los márgenes establecidos por la normativa MAC 02. Se comienza a apreciar un mayor punto de discontinuidad sobre la malla N°4 en la ilustración 24.

En comparación con el huso granulométrico anterior de 20 %, se comienza a requerir la alteración en mallas adicionales para mantener un punto de quiebre equilibrado, en laboratorio se comienza a notar que para la elaboración de muestras es necesario emplear mayor cantidad de agregado grueso generando mayor desperdicio y contenido de asfalto para la conformación de mezcla de igual forma que con el MAC 01.



*Ilustración 24: Supresión de agregados gruesos al 40% - MAC 02*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

Finalmente, en la siguiente tabla 17, se presentan las alteraciones granulométricas sobre la malla N°4 y la malla N°10 mediante una supresión de agregados intermedios al 60%, con lo cual el huso granulométrico MAC 01 genera cambios teóricos para la generación de nuevos pesos que permiten la elaboración de muestras de mezcla asfáltica, aumentando ligeramente el contenido de asfalto sobre la mezcla en comparación con la supresión de agregados al 40%. Este huso granulométrico final permite establecer puntos de comparación entre los diferentes tipos de mezcla empleados.

Tabla 17: Supresión de agregados gruesos al 60% - MAC 02

AGREGADOS (60%) MAC02					
Malla	PIEDRAS		ARENAS		
Tamiz	Piedra	Piedra	Arena	Arena	Cal
	3/4"	1/2"	natural	procesada	hidratada
Porcentajes	3/4"	1/2"	NATURAL	PROCESADA	FILLER
	0.0%	30.0%	33.0%	36.0%	1.0%
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	79.20	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	48.14	78.06	100.00	100.00	100.00
3/8"	35.32	45.16	100.00	100.00	100.00
Nº4	9.84	8.43	33.33	32.15	100.00
Nº8	20.37	13.21	65.09	67.60	100.00
Nº10	10.97	5.78	31.45	35.74	100.00
Nº16	14.73	3.98	42.83	46.78	100.00
Nº30	12.14	2.32	36.11	35.49	100.00
Nº40	10.99	1.91	25.97	28.37	100.00
Nº50	8.13	1.53	13.21	22.20	100.00
Nº80	6.73	0.22	11.70	19.23	100.00
Nº100	4.81	0.18	6.64	10.97	100.00
Nº200	4.34	0.11	4.07	4.62	100.00
<Nº200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

El comportamiento final sobre la supresión de agregados intermedios al 60% en el diseño por MAC 02 consigue establecer el punto más bajo encontrado, ya que a partir de este porcentaje la mezcla asfáltica no consigue conformarse al desmoronar en el proceso de compactación en laboratorio.

En la ilustración 25, se puede apreciar un punto de discontinuidad evidente al encontrar que los agregados intermedios se encuentran por debajo del 30% de pasantes.

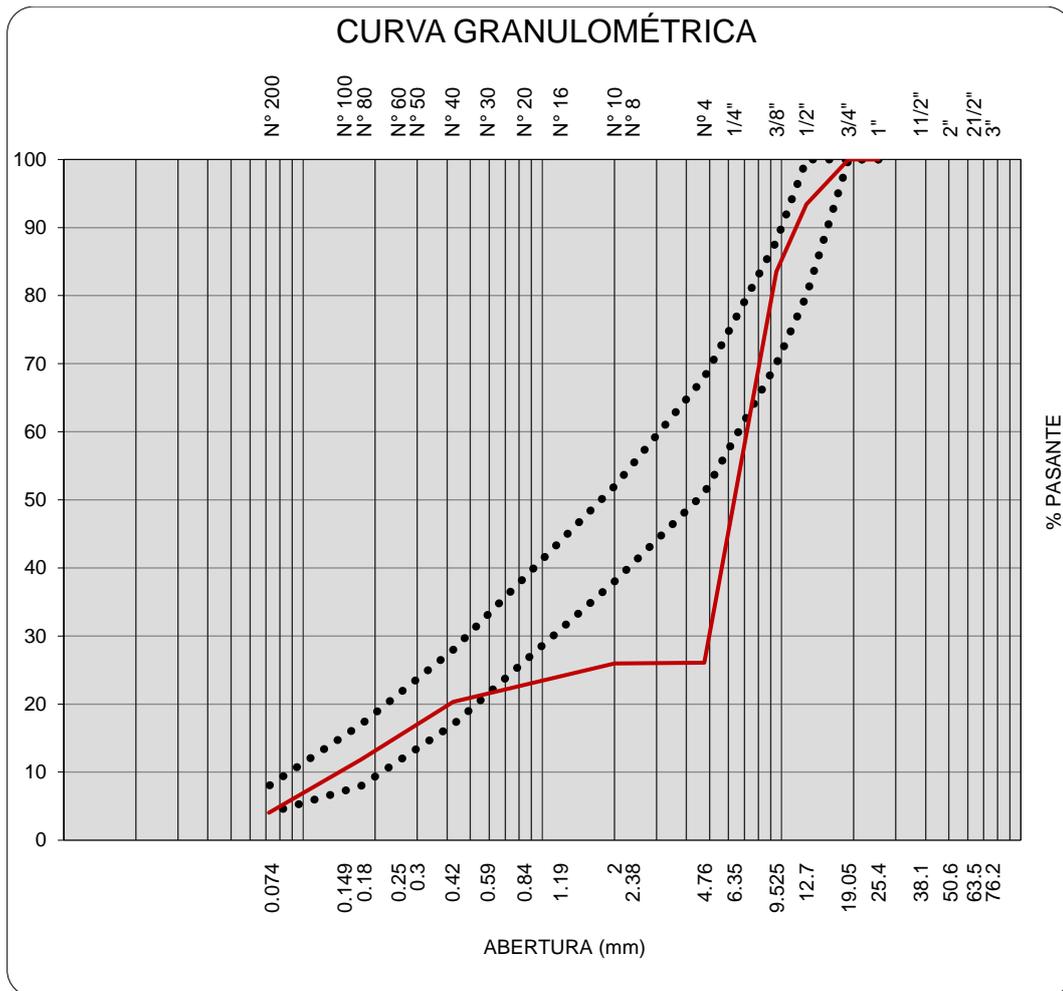


Ilustración 25: Supresión de agregados gruesos al 60% - MAC 02

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

#### 4.4. Estabilidad y Flujo por supresión de Agregados Intermedios – OE1

##### 4.4.1. Estabilidad y Flujo – Diseño de Mezcla MAC 01

Las propiedades mecánicas de las mezclas generadas a través de la supresión de agregados intermedios se ven directamente afectadas ante los cambios granulométricos por lo que en el presente apartado se presentan los resultados obtenidos a partir de las variaciones realizadas con el MAC 01 en porcentajes de 20%, 40% y 60%.

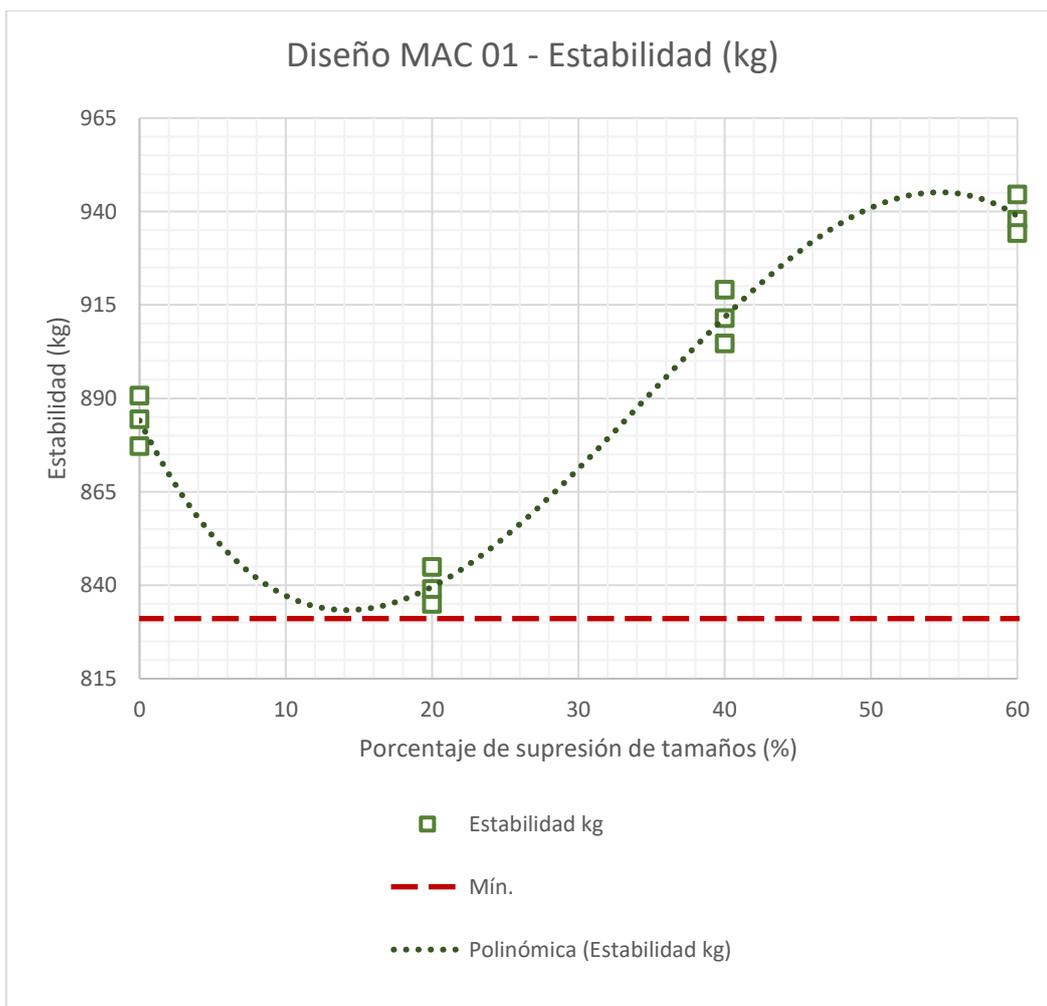
Respecto de los valores de estabilidad y flujo se encuentran variaciones tal y como se reporta en la siguiente tabla 18 sobre la estabilidad medida en kilogramos fuerza y el flujo evaluado en milímetros a partir de las variaciones por supresión de tamaños intermedios del MAC 01.

Tabla 18: Supresión de agregados MAC 01 – Estabilidad y Flujo

<b>Diseño MAC 01</b>			
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Estabilidad	Flujo
%	%	kg	mm
4.50	0	890.7	2.93
	0	884.37	2.85
	0	877.18	2.77
5.15	20	844.84	2.84
	20	834.97	2.67
	20	838.99	2.77
5.49	40	919.06	2.34
	40	904.66	2.23
	40	911.41	2.46
6.05	60	937.8	2.17
	60	934.19	2.32
	60	944.53	2.36

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

A medida que el porcentaje de supresión aumenta y comienza a salir de los límites establecidos por el MAC 01, se encuentra un notable descenso en la resistencia de la mezcla como se aprecia en la siguiente ilustración 26 de Estabilidad (kg). Encontrando que los valores cumplen los valores normativos Marshall y además se presenta una mejora producto de un reacomodo de partículas entre los porcentajes de supresión al 40% y 60%.



*Ilustración 26: Supresión de agregados MAC 01 – Estabilidad (kg)*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

Respecto de la fluencia correspondiente a la variación de supresión de agregados intermedios se encuentra una alteración como se puede observar en la siguiente ilustración 27. Obteniendo que para el MAC 1 se genera un ligero descenso del flujo producto de la ligera rigidización que se produce, aun cumpliendo con las disposiciones normativas marcadas.

Terminando con las propiedades mecánicas reportadas sobre el MAC 01, es importante tener en consideración que los porcentajes de ligante asfáltico requerido por cada supresión de agregados es directamente proporcional al contenido de asfalto que va requiriendo la mezcla para cumplir con los parámetros de diseño Marshall.

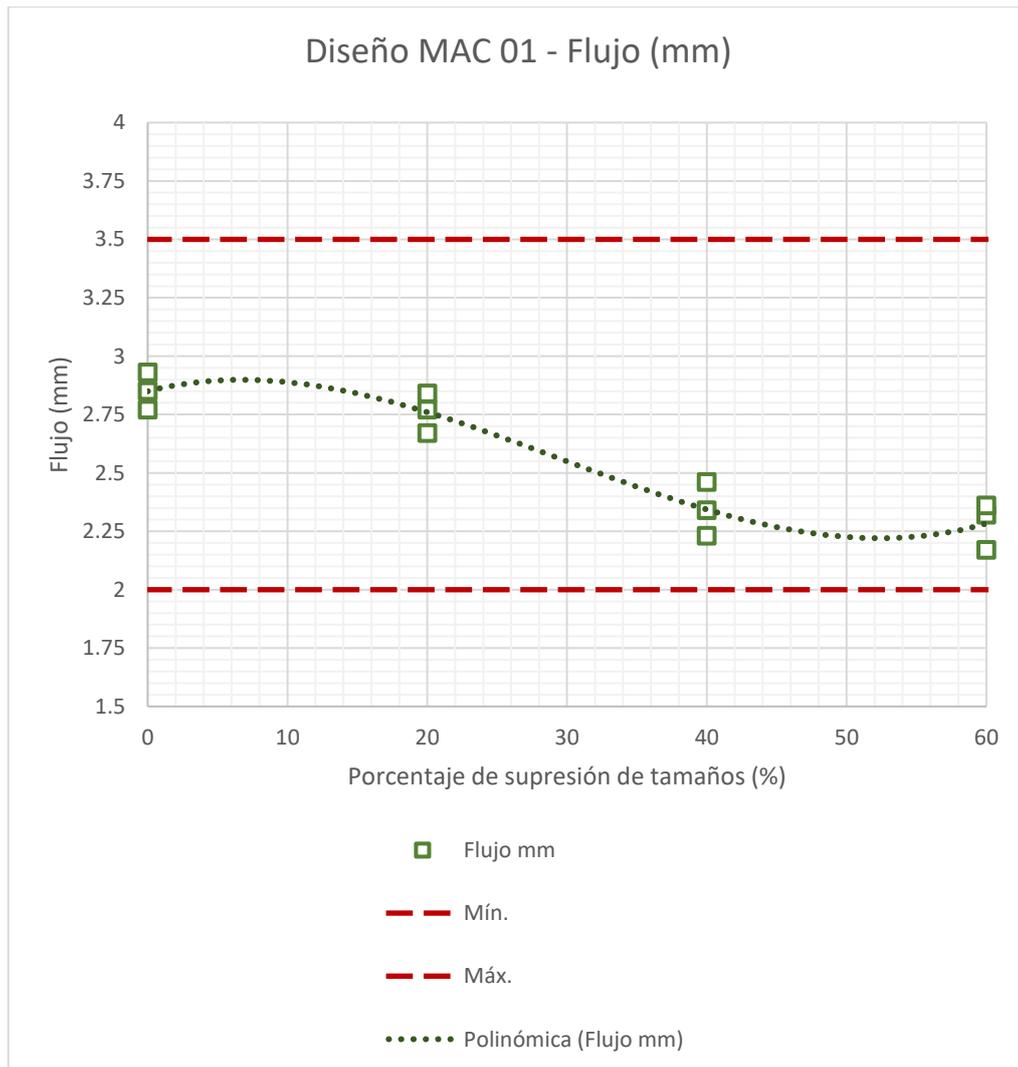


Ilustración 27: Supresión de agregados MAC 01 – Flujo (mm)

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

#### 4.4.2. Estabilidad y Flujo – Diseño de Mezcla MAC 02

Continuando con las propiedades mecánicas de las mezclas generadas a través de la supresión de agregados intermedios, se presentan los cambios granulométricos presentados y los resultados obtenidos a partir de las variaciones realizadas con el MAC 02 en porcentajes de 20%, 40% y 60%.

Respecto de los valores de estabilidad y flujo se encuentran variaciones tal y como se reporta en la siguiente tabla 19 sobre la estabilidad medida en kilogramos fuerza y el flujo evaluado en milímetros a partir de las variaciones por supresión de tamaños intermedios del MAC 02.

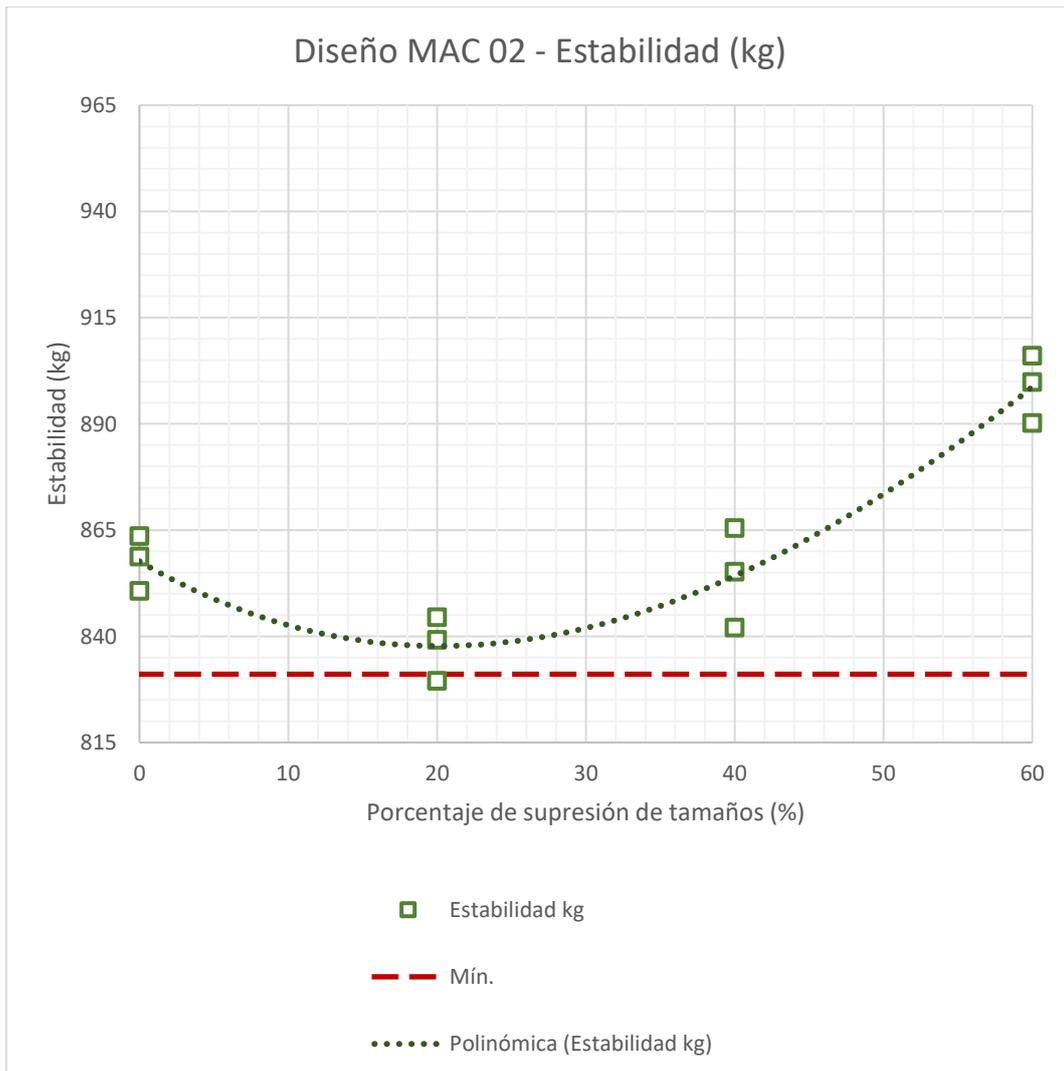
Tabla 19: Supresión de agregados MAC 02 – Estabilidad y Flujo

<b>Diseño MAC 02</b>			
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Estabilidad	Flujo
%	%	kg	mm
4.75	0	850.64	2.65
	0	863.56	2.60
	0	858.72	2.75
5.34	20	829.5	2.51
	20	839.15	2.60
	20	844.49	2.46
5.96	40	855.15	2.33
	40	865.47	2.37
	40	842.01	2.50
6.50	60	906.03	2.18
	60	890.16	2.06
	60	899.82	2.13

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

A medida que el porcentaje de supresión aumenta y comienza a salir de los límites establecidos por el MAC 02 se encuentra un notable descenso en la resistencia de la mezcla como se aprecia en la siguiente ilustración 28 de Estabilidad (kg). Encontrando que algunos valores no cumplen con los valores normativos Marshall y además se presenta una mejora producto de un reacomodo de partículas entre los porcentajes de supresión al 50% y 60%.

En comparación los valores de estabilidad son ligeramente mayores con la mezcla MAC 01 que con la mezcla MAC 02, pero ambos coinciden en un mejoramiento de la estabilidad entre el 50% y 60% de supresión de agregados.

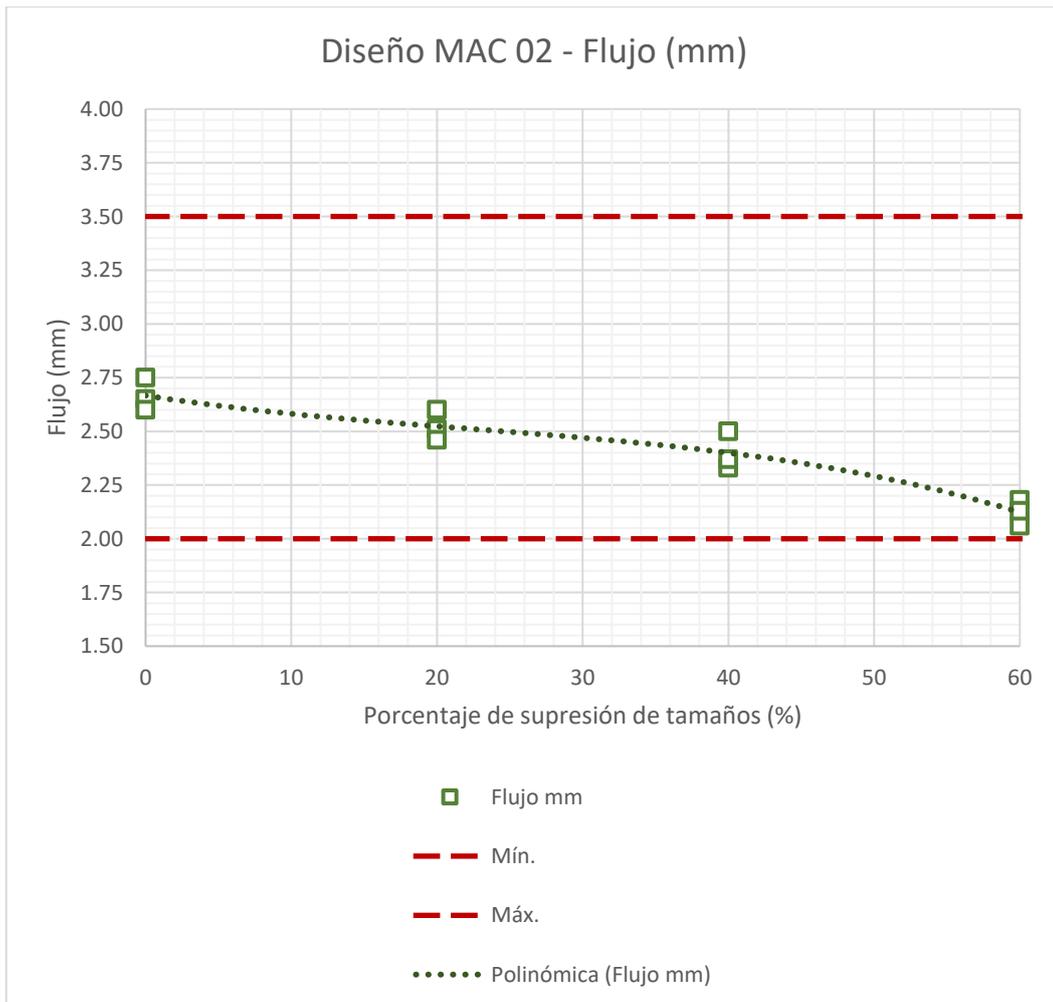


*Ilustración 28: Supresión de agregados MAC 02 – Estabilidad (kg)*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

Respecto de la fluencia correspondiente a la variación de supresión de agregados intermedios se encuentra una alteración como se puede observar en la siguiente ilustración 29. Obteniendo que para el MAC 2 se genera un ligero descenso del flujo producto de la ligera rigidización que se produce, aun cumpliendo con las disposiciones normativas marcadas.

Terminando con las propiedades mecánicas reportadas sobre el MAC 02, es importante tener en consideración que los porcentajes de ligante asfáltico requerido por cada supresión de agregados es directamente proporcional al contenido de asfalto que va requiriendo la mezcla para cumplir con los parámetros de diseño Marshall.



*Ilustración 29: Supresión de agregados MAC 02 – Flujo (mm)*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

#### **4.5. Inmersión Compresión por supresión de Agregados Intermedios – OE2**

##### **4.5.1. Inmersión Compresión – Diseño de Mezcla MAC 01**

La resistencia a la humedad por inmersión compresión de las mezclas asfálticas generadas a través de la supresión de agregados intermedios también presenta alteraciones que se reportan en siguiente apartado, en función de la mezcla tipo MAC 01.

En los resultados por inmersión compresión realizados a 25°C y 60°C, se encontró un ligero aumento a medida que aumenta el porcentaje de supresión de agregados intermedios, como se aprecia en la siguiente tabla 20, presentado al mismo tiempo un aumento en el contenido asfáltico de cada mezcla tipo MAC 01 modificada granular mente.

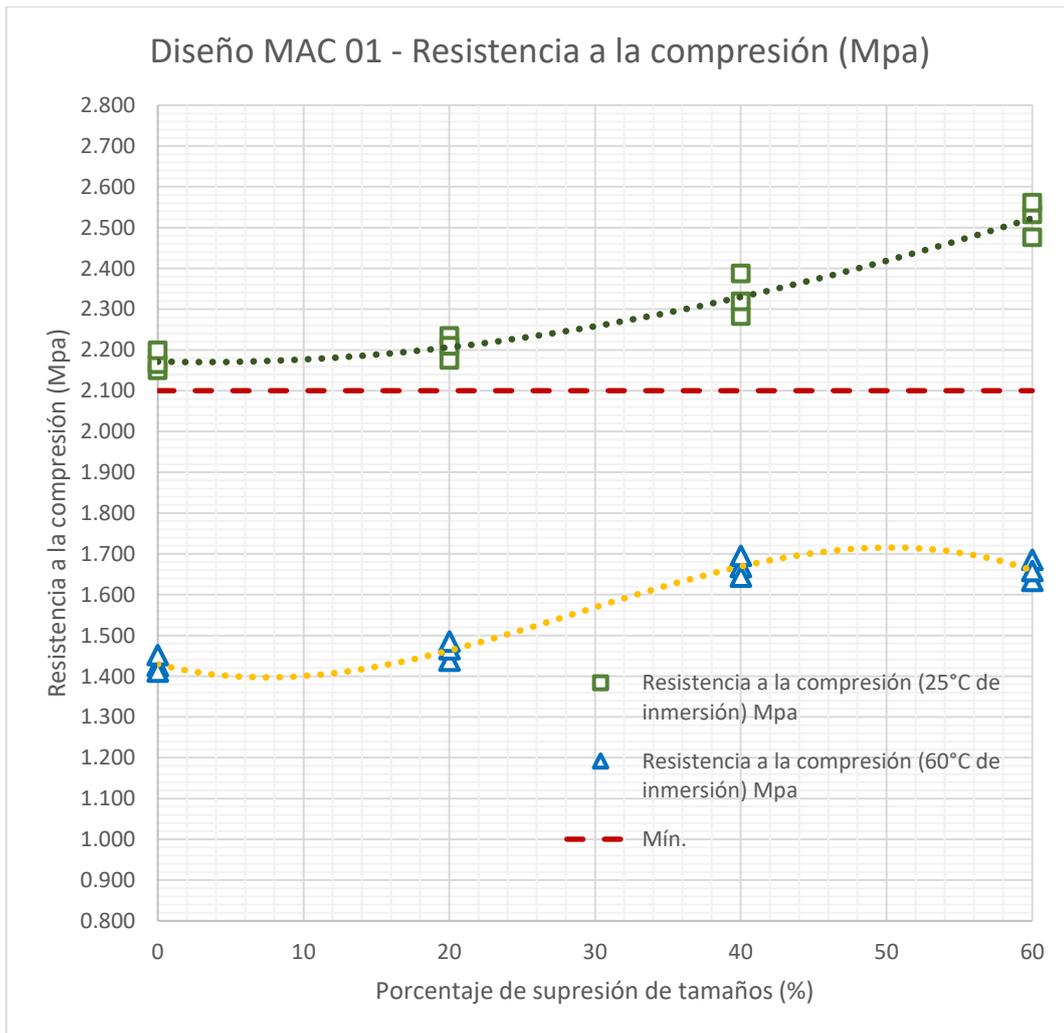
Tabla 20: Supresión de agregados MAC 01 – Inmersión Compresión

<b>Diseño MAC 01</b>			
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Resistencia a la compresión (25°C de inmersión)	Resistencia a la compresión (60°C de inmersión)
%	%	Mpa	Mpa
4.50	0	2.150	1.425
	0	2.165	1.411
	0	2.199	1.452
4.95	20	2.234	1.438
	20	2.175	1.466
	20	2.210	1.485
5.10	40	2.283	1.668
	40	2.387	1.644
	40	2.319	1.695
5.20	60	2.532	1.685
	60	2.561	1.634
	60	2.476	1.658

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

Producto del reacomodo en las partículas de agregado y de porcentaje de contenido asfáltico de cada tipo de mezcla, se presenta en la ilustración 30 un ligero mejoramiento de resistencia a la humedad por inmersión compresión.

Es importante reportar que las muestras de inmersión compresión presentaban dificultades en su conformación a partir del 60% de supresión de agregados intermedios, motivo por el cual no fue posible realizar pruebas con porcentajes mayores de supresión.



*Ilustración 30: Supresión de agregados MAC 01 – Inmersión Compresión*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

#### **4.5.2. Inmersión Compresión – Diseño de Mezcla MAC 02**

La resistencia a la humedad por inmersión compresión de las mezclas asfálticas generadas a través de la supresión de agregados intermedios también presenta alteraciones que se reportan en siguiente apartado, en función de la mezcla tipo MAC 02.

En los resultados por inmersión compresión realizados a 25°C y 60°C, se encontró un ligero aumento a medida que aumenta el porcentaje de supresión de agregados intermedios, al igual que con el MAC 01, como se aprecia en la siguiente tabla 21. Se observa de forma simultánea un aumento en el contenido asfáltico de cada mezcla tipo MAC 02 modificada en su huso discontinuo progresivo.

Tabla 21: Supresión de agregados MAC 01 – Inmersión Compresión

<b>Diseño MAC 02</b>			
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Resistencia a la compresión (25°C de inmersión)	Resistencia a la compresión (60°C de inmersión)
%	%	Mpa	Mpa
4.75	0	1.966	1.330
	0	2.005	1.345
	0	2.037	1.391
5.15	20	2.047	1.446
	20	2.085	1.520
	20	2.009	1.494
5.25	40	2.209	1.654
	40	2.273	1.606
	40	2.252	1.626
5.32	60	2.228	1.699
	60	2.284	1.745
	60	2.319	1.669

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

Producto del reacomodo en las partículas de agregado y de porcentaje de contenido asfáltico de cada tipo de mezcla, se presenta en la ilustración 31 un ligero mejoramiento de resistencia a la humedad por inmersión compresión para el MAC 02.

Obtenidos los comportamientos por resistencia a la humedad mediante la inmersión compresión con el MAC 01 y MAC se puede apreciar que existe una ligera superioridad de la mezcla MAC 01 sobre la mezcla MAC 02, aunque ambas presentan la misma tendencia a mejorar su resistencia a la humedad.

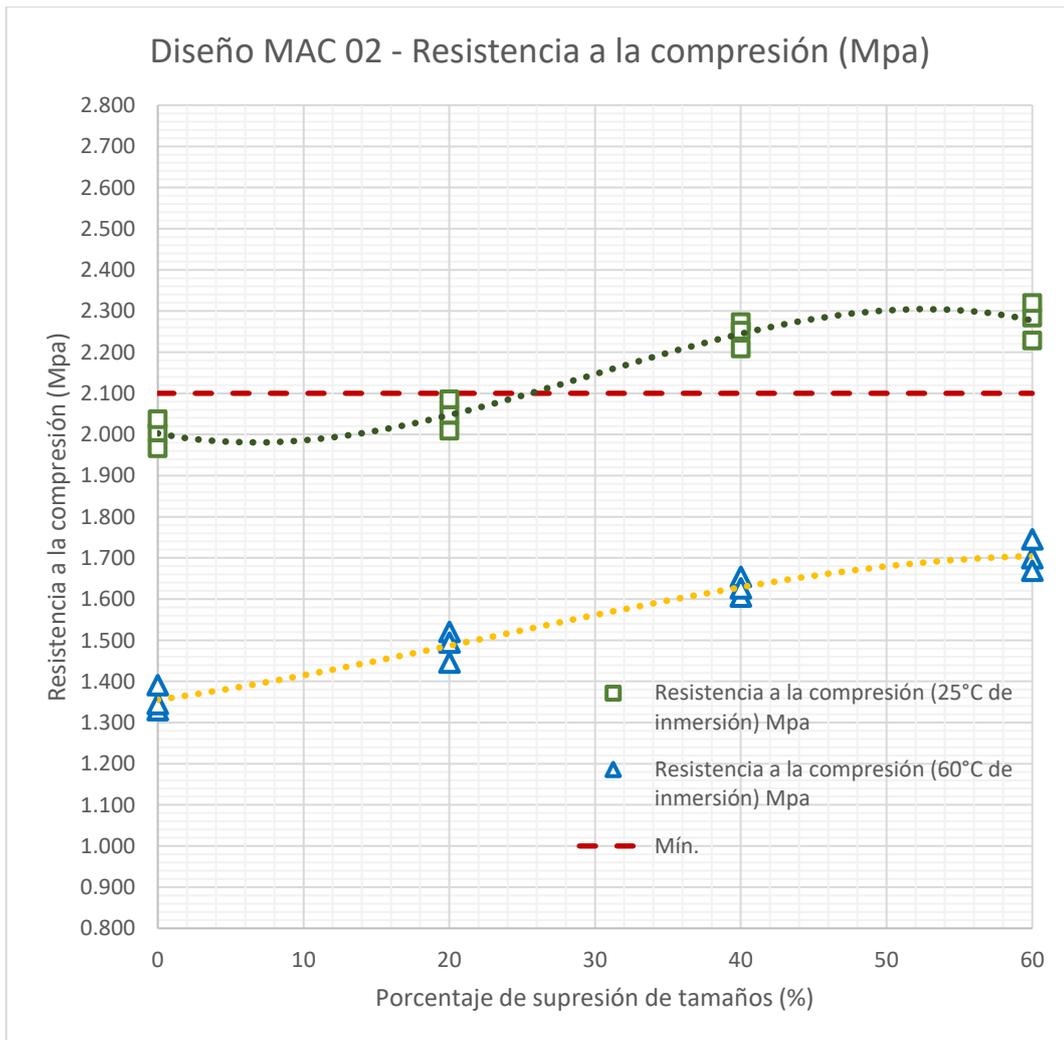


Ilustración 31: Supresión de agregados MAC 02 – Inmersión Compresión

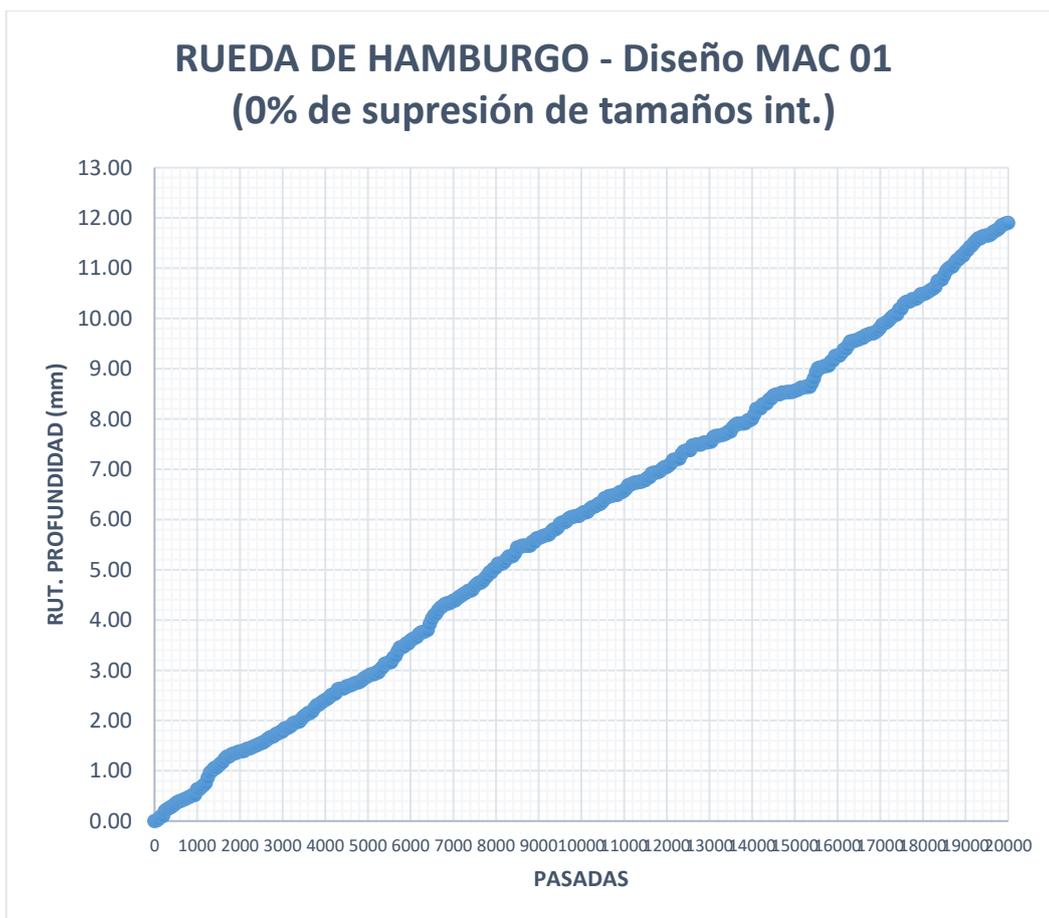
Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

#### 4.6. Ahuellamiento por supresión de Agregados Intermedios – OE3

##### 4.6.1. Ahuellamiento – Diseño de Mezcla MAC 01

Como parte complementaria, se incorpora al estudio un ensayo de desempeño mediante el ensayo de ahuellamiento en las mezclas asfálticas generadas a través de la supresión de agregados intermedios realizadas por MAC 01.

Presentando en la siguiente ilustración 32 el espectro de deformaciones reportado la mezcla MAC 01 sin supresión de agregados intermedios como punto de referencia para los demás puntos de análisis necesarios para una comparativa efectiva.



*Ilustración 32: Espectro de deformaciones MAC 01 – Ahuellamiento*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

A partir de cada uno de los espectros de deformaciones del MAC 01 a distintos porcentajes de supresión de agregados intermedios evidenciados en el apartado de Anexos 02, se presenta en la siguiente tabla 22 los datos diferenciales por variación granular en el MAC 01.

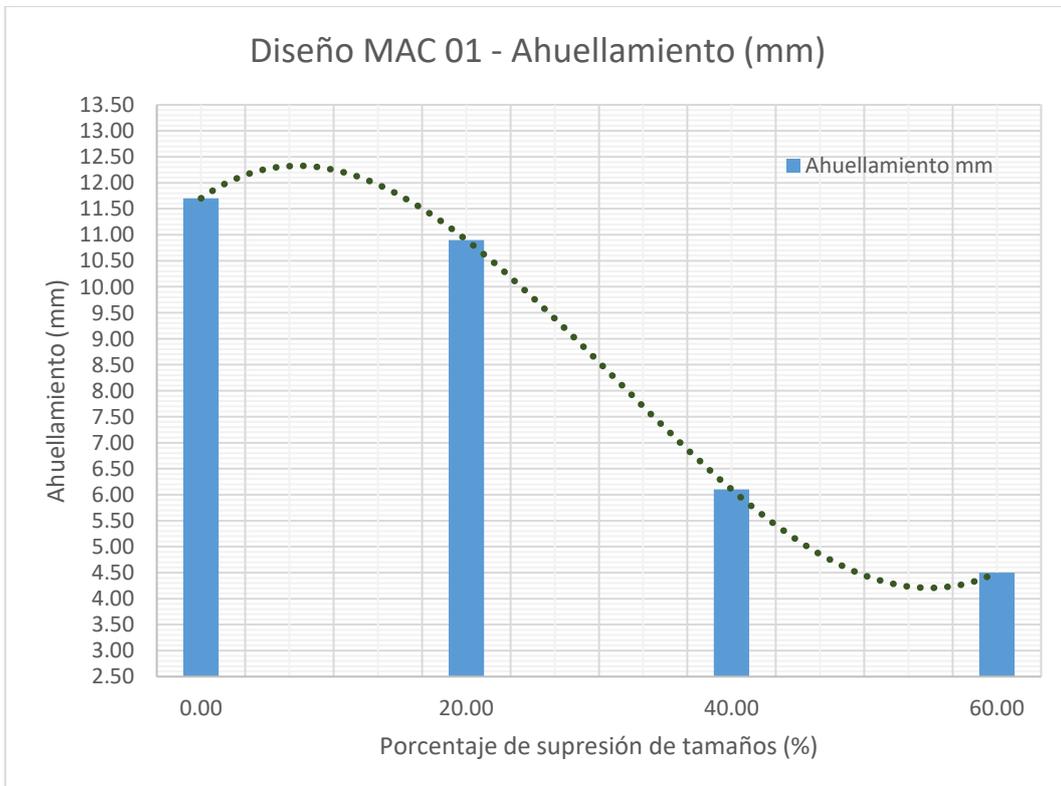
*Tabla 22: Supresión de agregados MAC 01 – Ahuellamiento*

<b>Diseño MAC 01</b>				
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Supresión de tamaños intermedios	Ahuellamiento	Ahuellamiento
%	%	%	mm	mm
4.50	0	0.00	11.9	11.70

	0		12.0	
	0		11.2	
4.95	20	20.00	10.8	10.90
	20		10.5	
	20		11.4	
5.10	40	40.00	6.1	6.10
	40		6.5	
	40		5.7	
5.20	60	60.00	4.6	4.50
	60		5.0	
	60		3.9	

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

Finalmente, en la ilustración 32, se presenta el ahuellamiento comparativo resultante, donde se evidencia una deficiencia sobre la mezcla MAC 01 control y una mejora representativa sobre la mezcla con supresión al 60%.



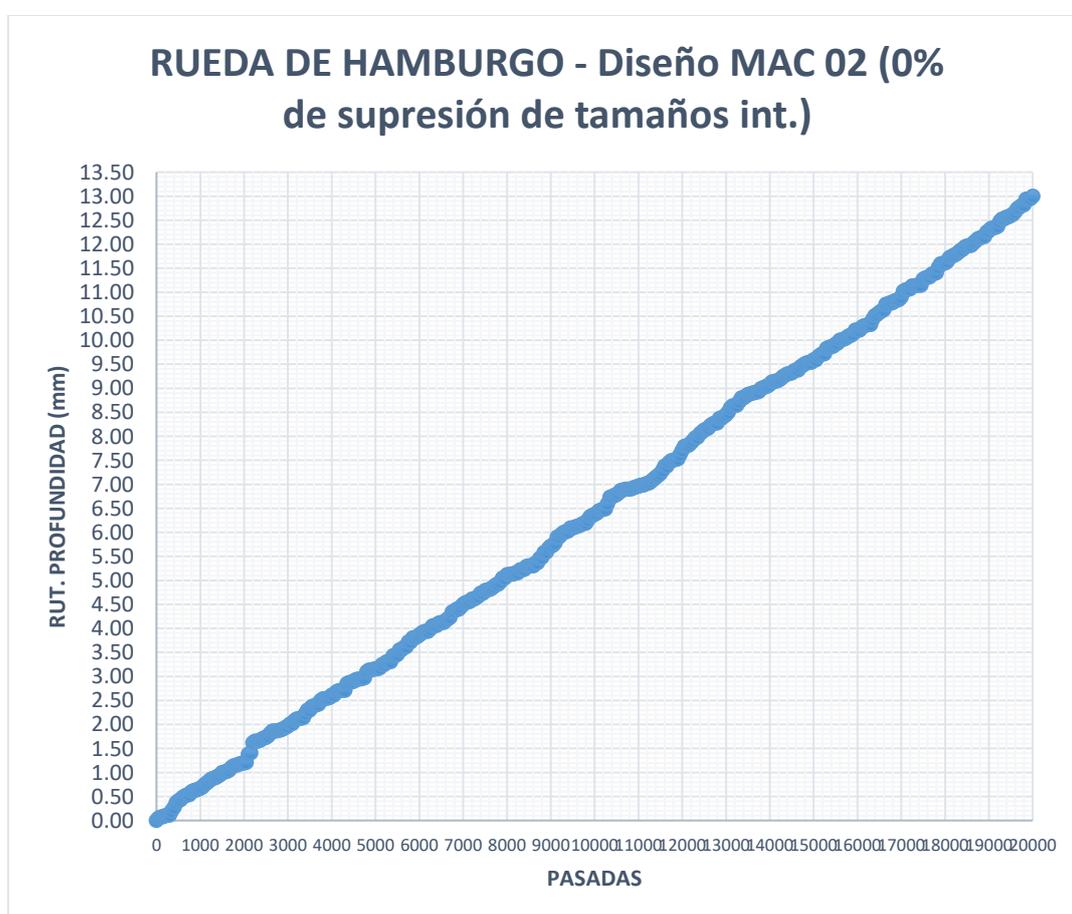
*Ilustración 33: Supresión comparativa MAC 01 – Ahuellamiento*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

#### 4.6.2. Ahuellamiento – Diseño de Mezcla MAC 02

Terminando la parte complementaria, se incorpora al estudio un ensayo de desempeño mediante el ensayo de ahuellamiento en las mezclas asfálticas generadas a través de la supresión de agregados intermedios realizadas por MAC 02.

Presentando en la siguiente ilustración 34 el espectro de deformaciones reportado la mezcla MAC 02 sin supresión de agregados intermedios como punto de referencia para los demás puntos de análisis necesarios para una comparativa efectiva.



*Ilustración 34: Espectro de deformaciones MAC 02 – Ahuellamiento*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

A partir de cada uno de los espectros de deformaciones del MAC 01 a distintos porcentajes de supresión de agregados intermedios evidenciados en el apartado de Anexos 02, se presenta en la siguiente tabla 22 los datos diferenciales por variación granular en el MAC 01.

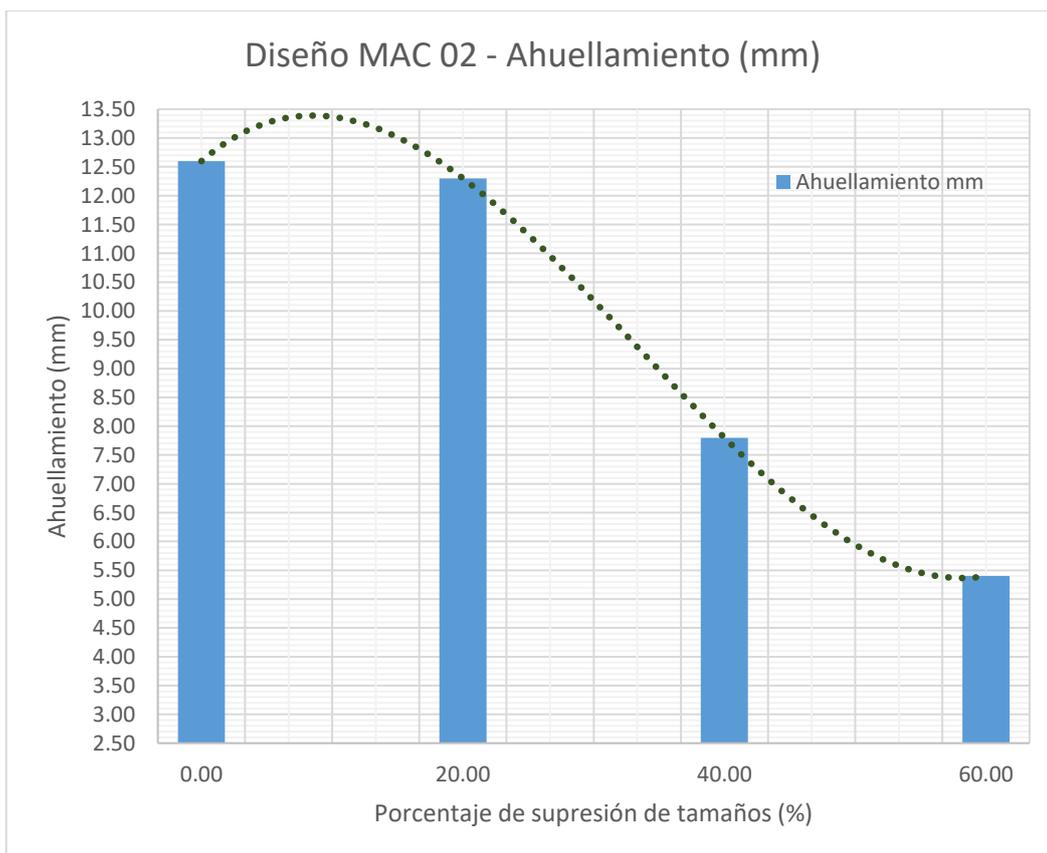
Tabla 23: Supresión de agregados MAC 02 – Ahuellamiento

<b>Diseño MAC 02</b>				
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Supresión de tamaños intermedios	Ahuellamiento	Ahuellamiento
%	%	%	mm	mm
4.50	0	0.00	13.0	12.60
	0		12.2	
	0		12.6	
4.95	20	20.00	12.8	12.30
	20		12.4	
	20		11.7	
5.10	40	40.00	8.4	7.80
	40		7.8	
	40		7.2	
5.20	60	60.00	5.8	5.40
	60		5.4	
	60		5.0	

Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023

Finalmente, en la ilustración 35, se presenta el ahuellamiento comparativo resultante, donde se evidencia una deficiencia sobre la mezcla MAC 02 control y también una mejora representativa sobre la mezcla con supresión al 60% de forma progresiva.

Resultando en comparación que existen mayores deformaciones permanentes con la mezcla MAC 02 en comparación con la mezcla MAC 01, aunque ambas presentan una significativa mejora con la supresión de agregados intermedios.



*Ilustración 35: Supresión comparativa MAC 02 – Ahuellamiento*

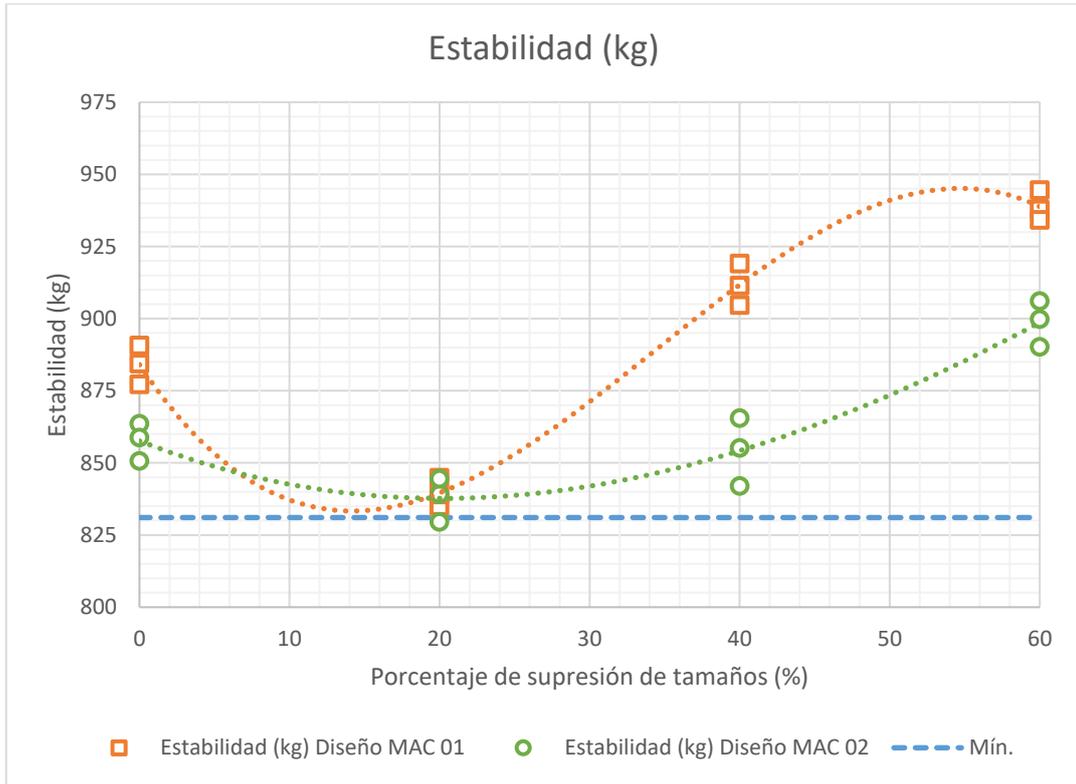
*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

#### **4.7. Discusión de Resultados por Supresión de Agregados – OG**

Como parte crítica sobre los resultados obtenidos, se presenta en la siguiente ilustración 36 la estabilidad comparativa resultante entre la supresión de agregados intermedios realizados a mezcla de MAC 01 y a la mezcla de MAC 02.

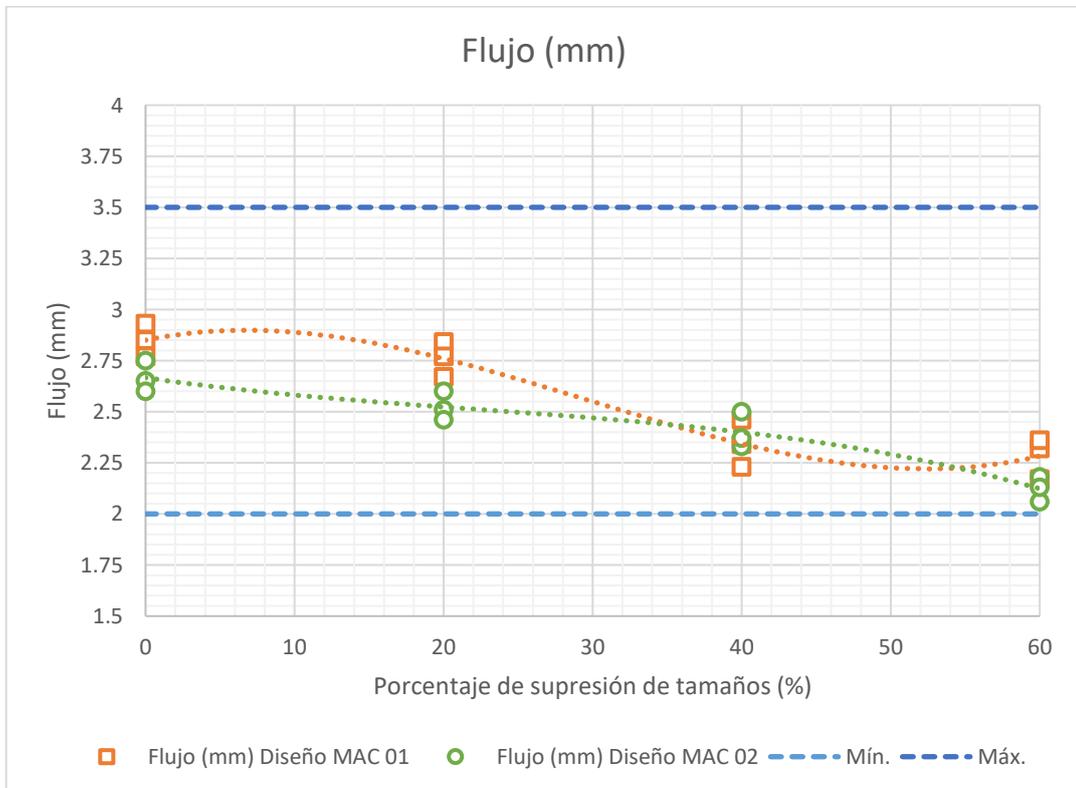
Obteniendo de esta manera una notable superioridad de la mezcla elaborada con MAC 01, este fenómeno podría estar directamente relacionado con un adecuado reacomodo de partículas granulares a través de tamaños nominales mucho más elevados.

De igual forma, en la ilustración 37, se presentan los comparativos de fluencia entre la mezcla de MAC 01 y a la mezcla de MAC 02, donde cumpliendo con el límite inferior establecido, existe una ligera rigidización de la mezcla ante la supresión de agregados intermedios.



*Ilustración 36: Supresión comparativa MAC – Estabilidad (kg)*

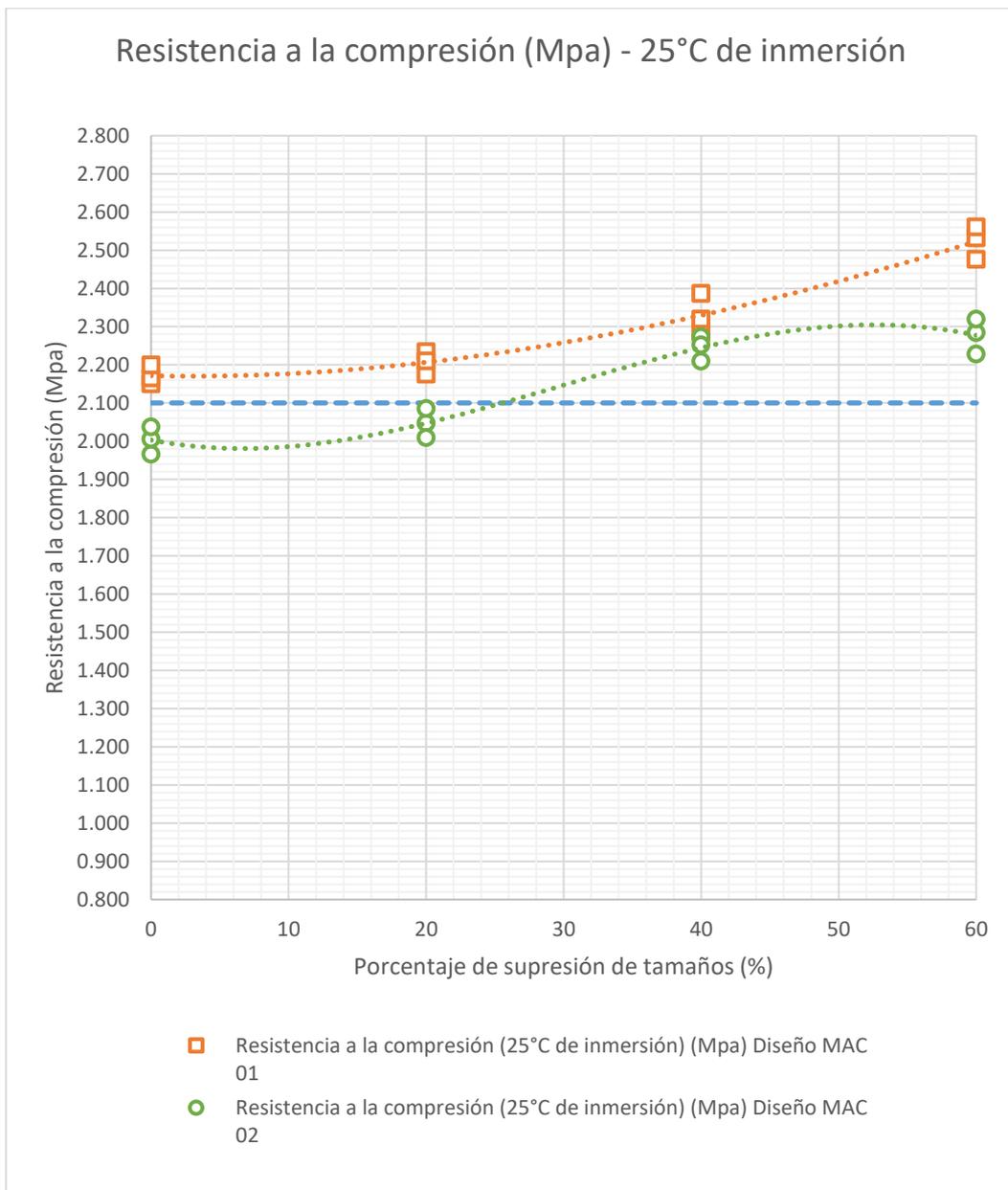
*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*



*Ilustración 37: Supresión comparativa MAC – Flujo (mm)*

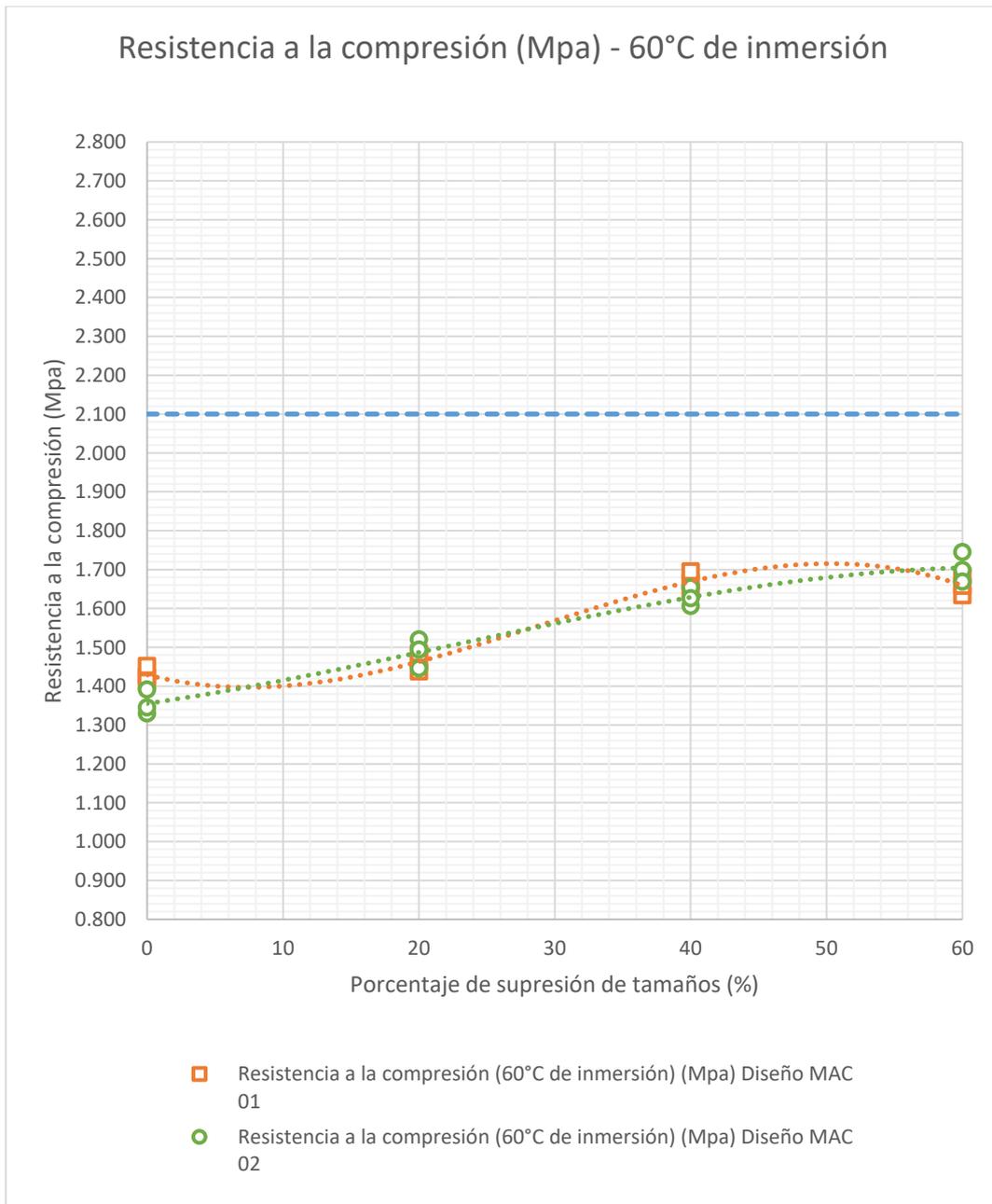
*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

De los ensayos de inmersión compresión realizados, se presentan en las siguientes ilustraciones 38 y 39 los comparativos de resistencia a la humedad entre la mezcla de MAC 01 y a la mezcla de MAC 02, a temperatura de ensayo disimiles. Este fenómeno observado sugiere un ligero aumento en la resistencia por inmersión compresión a medida que aumenta la supresión de agregados, esto puede llegar a ser producto del aumento del contenido asfáltico en forma progresiva y también de un mejor reacomodo de las partículas de la mezcla.



*Ilustración 38: Supresión comparativa – Inmersión Compresión (25°C)*

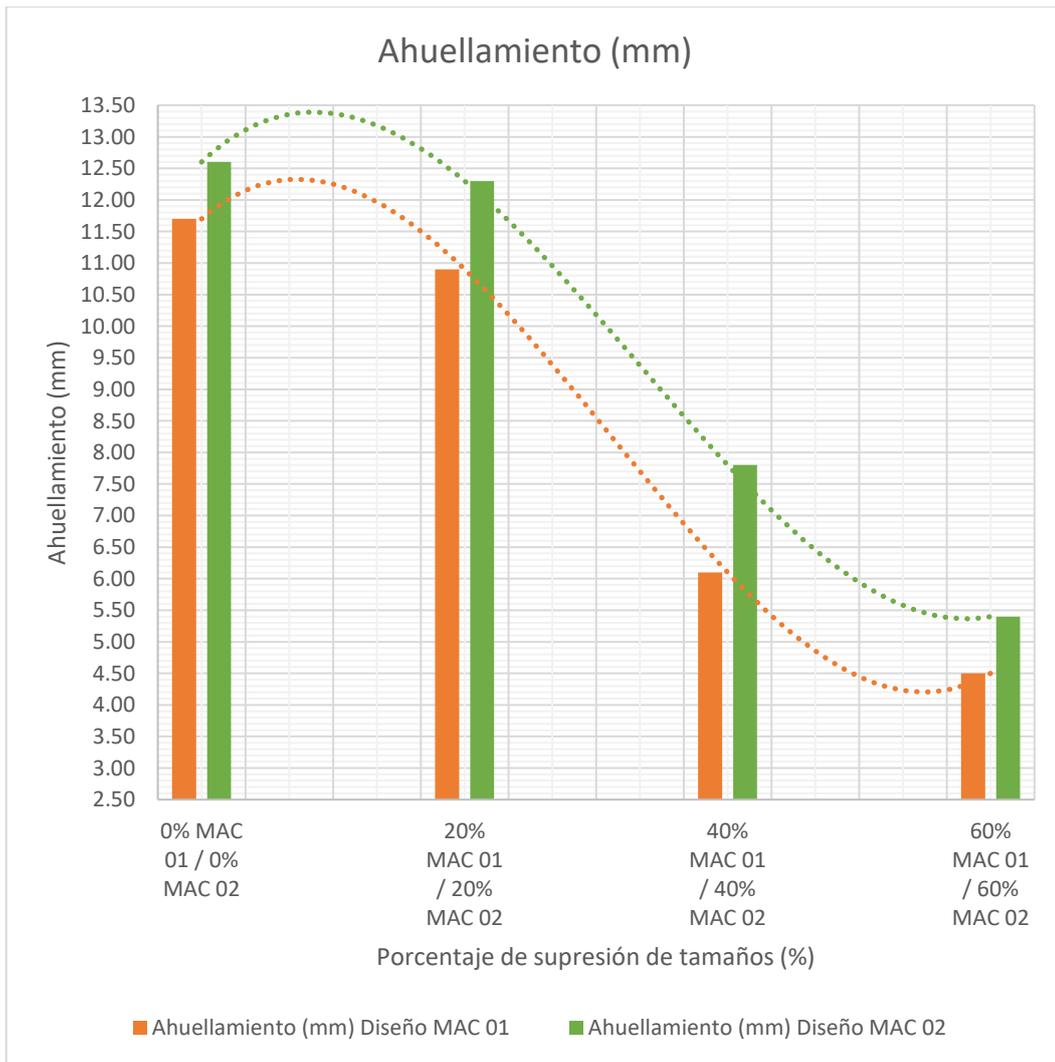
*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*



*Ilustración 39: Supresión comparativa – Inmersión Compresión (60°C)*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

Como parte de un ensayo de desempeño de mezclas asfálticas, se considera al ahuellamiento con parámetro comparativo entre la mezcla de MAC 01 y a la mezcla de MAC 02, obteniendo en la siguiente ilustración 40 la evidencia sobre una deficiencia en las mezclas convencionales y una mejora sobre la susceptibilidad al ahuellamiento a medida que aumenta la supresión de agregados intermedios.

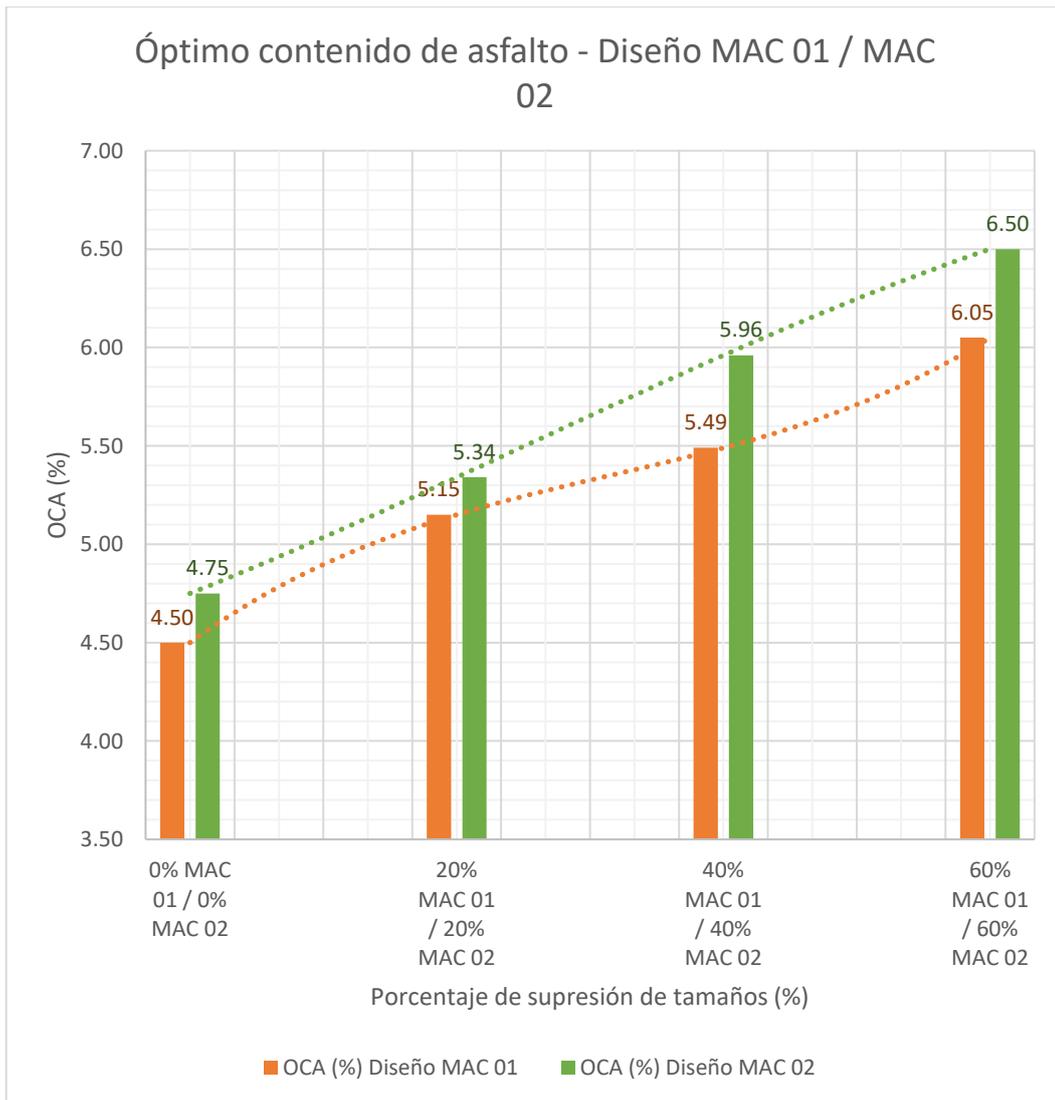


*Ilustración 40: Supresión comparativa MAC – Ahuellamiento (mm)*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

Para finalizar, se reporta en la siguiente ilustración 41 el acrecentamiento del contenido de asfalto necesario para la supresión de los agregados en el MAC 01 y el MAC 02 a medida que aumenta el porcentaje de supresión de agregados intermedios.

Esta particularidad puede llegar a ser posible, debido a que para una adecuada conformación de mezcla al quitar los tamaños intermedios de mezcla aumentan los porcentajes de agregado fino y grueso, requiriendo de esta forma mayores porcentajes de ligante asfáltico para conseguir consolidar este tipo de mezcla discontinua.



*Ilustración 41: Supresión comparativa MAC – Contenido de Asfalto (%)*

*Fuente: Producción propia en Hojas de Cálculo 2023*

#### **4.8. Análisis Estadístico – Supresión de agregados MAC**

Como parte de la validación de la base datos generada del estudio de las propiedades sobre la mezcla con supresión de agregados intermedios, se presenta en el siguiente apartado la correspondiente validación estadística a través del contraste de hipótesis.

## 4.8.1. Diseño MAC 01 – Supresión de Agregados

### 4.8.1.1. Estabilidad para diseño MAC 01

- Detallado estadístico:

En el siguiente esquema estadístico, se presentan los detallados resultantes de los datos registrados de la estabilidad resultante al realizar el ensayo de Marshall de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01 en relación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios.

Tabla 24: Detallado estadístico para la estabilidad del diseño MAC 01

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Estadístico	Error estándar		
Estabilidad (kg) - Diseño MAC 01	0	<b>Media</b>	884,0833	3,90552		
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	867,2792		
			<b>Límite superior</b>	900,8874		
		<b>Media recortada al 5%</b>	.			
		<b>Mediana</b>	884,3700			
		<b>Varianza</b>	45,759			
		<b>Desviación estándar</b>	6,76456			
		<b>Mínimo</b>	877,18			
		<b>Máximo</b>	890,70			
		<b>Rango</b>	13,52			
		<b>Rango intercuartil</b>	.			
		<b>Asimetría</b>	-,190	1,225		
		<b>Curtosis</b>	.			
			20	<b>Media</b>	839,6000	2,86550
				<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	827,2707
<b>Límite superior</b>	851,9293					
<b>Media recortada al 5%</b>	.					
<b>Mediana</b>	838,9900					
<b>Varianza</b>	24,633					
<b>Desviación estándar</b>	4,96319					
<b>Mínimo</b>	834,97					
<b>Máximo</b>	844,84					
<b>Rango</b>	9,87					
<b>Rango intercuartil</b>	.					
<b>Asimetría</b>	,545			1,225		
<b>Curtosis</b>	.					
	40			<b>Media</b>	911,7100	4,15963
				<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	893,8126
		<b>Límite superior</b>	929,6074			
		<b>Media recortada al 5%</b>	.			
		<b>Mediana</b>	911,4100			
		<b>Varianza</b>	51,907			
		<b>Desviación estándar</b>	7,20469			
		<b>Mínimo</b>	904,66			
		<b>Máximo</b>	919,06			
		<b>Rango</b>	14,40			
		<b>Rango intercuartil</b>	.			
		<b>Asimetría</b>	,187	1,225		

60	<b>Curtosis</b>		.	.
	<b>Media</b>		938,8400	3,02986
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	925,8036	
		<b>Límite superior</b>	951,8764	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	.
	<b>Mediana</b>		937,8000	
	<b>Varianza</b>		27,540	
	<b>Desviación estándar</b>		5,24787	
	<b>Mínimo</b>		934,19	
	<b>Máximo</b>		944,53	
	<b>Rango</b>		10,34	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	.
	<b>Asimetría</b>		,857	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	.

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Distribución paramétrica:

Para determinar la distribución de los resultados de estabilidad para la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de estabilidad del diseño MAC 01 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de estabilidad del diseño MAC 01 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico se comprueba que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde las significancias no bajan del máximo establecido de 0,05 como valor de referencia.

Tabla 25: Distribución paramétrica para la estabilidad del diseño MAC 01

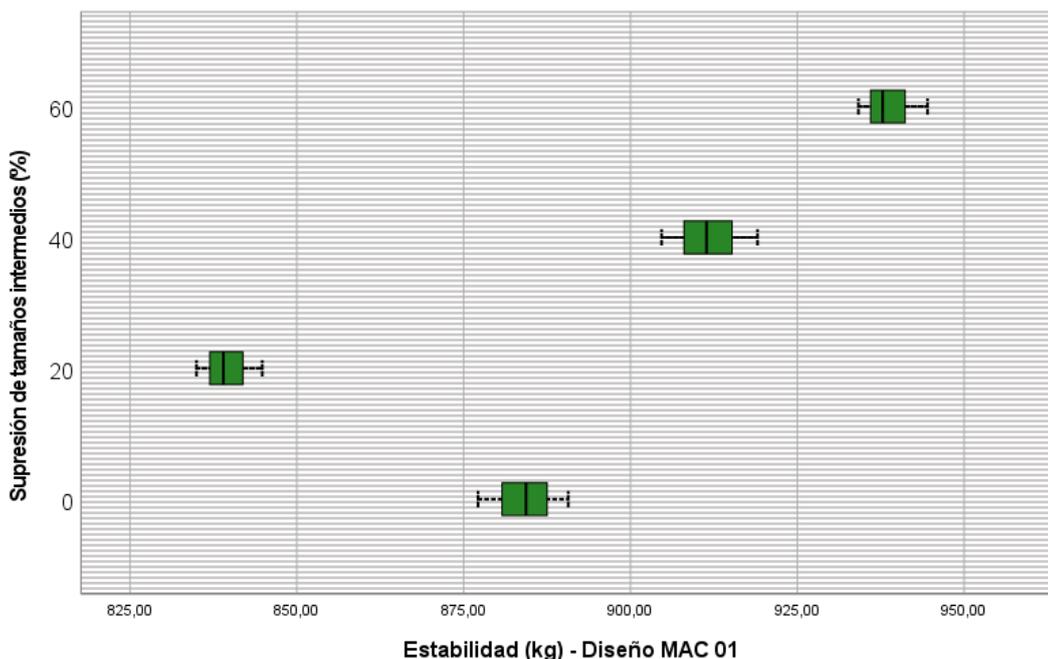
	Supresión de tamaños intermedios (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad (kg) - Diseño MAC 01	0	,184	3	.	,999	3	,930
	20	,216	3	.	,989	3	,796
	40	,183	3	.	,999	3	,931
	60	,245	3	.	,971	3	,671

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Gráfica de cajas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de estabilidad al realizar el ensayo de Marshall de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01 en relación con el porcentaje de supresión de tamaños intermedios, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Ilustración 42: Gráfica de cajas para la estabilidad del diseño MAC 01*

*Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023*

- Prueba bivariada Pearson:

Para la distribución de datos normal de los resultados de estabilidad del diseño MAC 01 se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de 0.714 lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “estabilidad del diseño MAC 01” y la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” es positiva alta.

Tabla 26: Prueba bivariada para la estabilidad del diseño MAC 01

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Estabilidad (kg) - Diseño MAC 01
Supresión de tamaños intermedios (%)	Correlación de Pearson	1	,714**
	Sig. (bilateral)		,009
	N	12	12
Estabilidad (kg) - Diseño MAC 01	Correlación de Pearson	,714**	1
	Sig. (bilateral)	,009	
	N	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Diagrama de burbujas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con la línea de ajuste y su respectiva ecuación resultante del análisis de la distribución normal entre la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios y la estabilidad del diseño MAC 01, observando un comportamiento directamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.982.

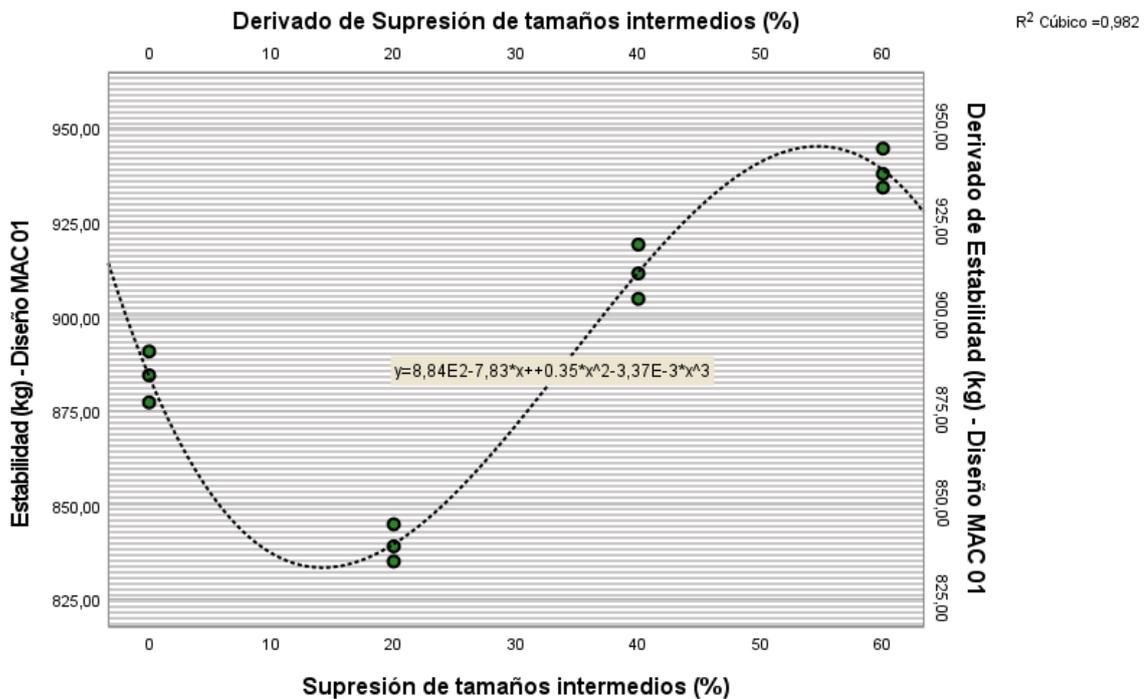


Ilustración 43: Diagrama burbujas para la estabilidad del diseño MAC 01

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

#### 4.8.1.2. Flujo para diseño MAC 01

- Detallado estadístico:

En el siguiente esquema estadístico, se presentan los detallados resultantes de los datos registrados del flujo resultante al realizar el ensayo de Marshall de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01 en relación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios.

Tabla 27: Detallado estadístico para el flujo del diseño MAC 01

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Estadístico	Error estándar			
Flujo (mm) - Diseño MAC 01	0	<b>Media</b>	2,8500	,04619			
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,6513			
			<b>Límite superior</b>	3,0487			
		<b>Media recortada al 5%</b>	.				
		<b>Mediana</b>	2,8500				
		<b>Varianza</b>	,006				
		<b>Desviación estándar</b>	,08000				
		<b>Mínimo</b>	2,77				
		<b>Máximo</b>	2,93				
		<b>Rango</b>	,16				
		<b>Rango intercuartil</b>	.				
		<b>Asimetría</b>	,000	1,225			
		<b>Curtosis</b>	.				
		20	20	<b>Media</b>	2,7600	,04933	
				<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,5478	
					<b>Límite superior</b>	2,9722	
				<b>Media recortada al 5%</b>	.		
				<b>Mediana</b>	2,7700		
				<b>Varianza</b>	,007		
<b>Desviación estándar</b>	,08544						
<b>Mínimo</b>	2,67						
<b>Máximo</b>	2,84						
<b>Rango</b>	,17						
<b>Rango intercuartil</b>	.						
<b>Asimetría</b>	-,519			1,225			
<b>Curtosis</b>	.						
40	40			<b>Media</b>	2,3433	,06642	
				<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,0576	
					<b>Límite superior</b>	2,6291	
				<b>Media recortada al 5%</b>	.		
				<b>Mediana</b>	2,3400		
				<b>Varianza</b>	,013		
		<b>Desviación estándar</b>	,11504				
		<b>Mínimo</b>	2,23				
		<b>Máximo</b>	2,46				
		<b>Rango</b>	,23				
		<b>Rango intercuartil</b>	.				
		<b>Asimetría</b>	,130	1,225			
		<b>Curtosis</b>	.				
		60	60	<b>Media</b>	2,2833	,05783	
				<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,0345	
					<b>Límite superior</b>	2,5322	
				<b>Media recortada al 5%</b>	.		

<b>Media recortada al 5%</b>	.	
<b>Mediana</b>	2,3200	
<b>Varianza</b>	,010	
<b>Desviación estándar</b>	,10017	
<b>Mínimo</b>	2,17	
<b>Máximo</b>	2,36	
<b>Rango</b>	,19	
<b>Rango intercuartil</b>	.	
<b>Asimetría</b>	-1,427	1,225
<b>Curtosis</b>	.	

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Distribución paramétrica:

Para determinar la distribución de los resultados de flujo para la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de flujo del diseño MAC 01 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de flujo del diseño MAC 01 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico, se comprueba que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde las significancias no bajan del máximo establecido de 0,05 como valor de referencia. Para la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” en función de la variable dependiente “flujo del diseño MAC 01”.

Tabla 28: Detallado estadístico para el flujo del diseño MAC 01

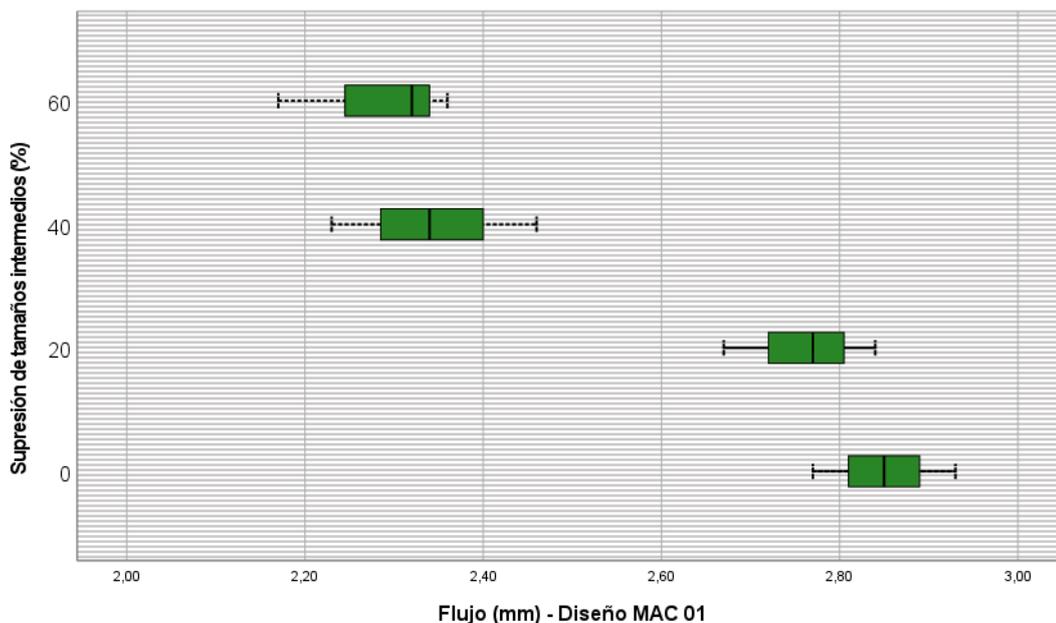
	Supresión de tamaños intermedios (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Flujo (mm) - Diseño MAC 01	0	,175	3	.	1,000	3	1,000
	20	,213	3	.	,990	3	,806
	40	,178	3	.	,999	3	,952
	60	,310	3	.	,900	3	,384

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Gráfica de cajas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de flujo al realizar el ensayo de Marshall de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01 en relación con el porcentaje de supresión de tamaños intermedios, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Ilustración 44: Gráfica de cajas para el flujo del diseño MAC 01*

*Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023*

- Prueba bivariada Pearson:

Para la distribución de datos normal de los resultados de flujo del diseño MAC 01, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.907 lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “flujo del diseño MAC 01” y la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” es negativa muy alta.

Tabla 29: Prueba bivariada para el flujo del diseño MAC 01

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Flujo (mm) - Diseño MAC 01
Supresión de tamaños intermedios (%)	Correlación de Pearson	1	-,907**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	12	12
Flujo (mm) - Diseño MAC 01	Correlación de Pearson	-,907**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Diagrama de burbujas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con la línea de ajuste y su respectiva ecuación resultante del análisis de la distribución normal entre la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios y el flujo del diseño MAC 01, observando un comportamiento directamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.909.

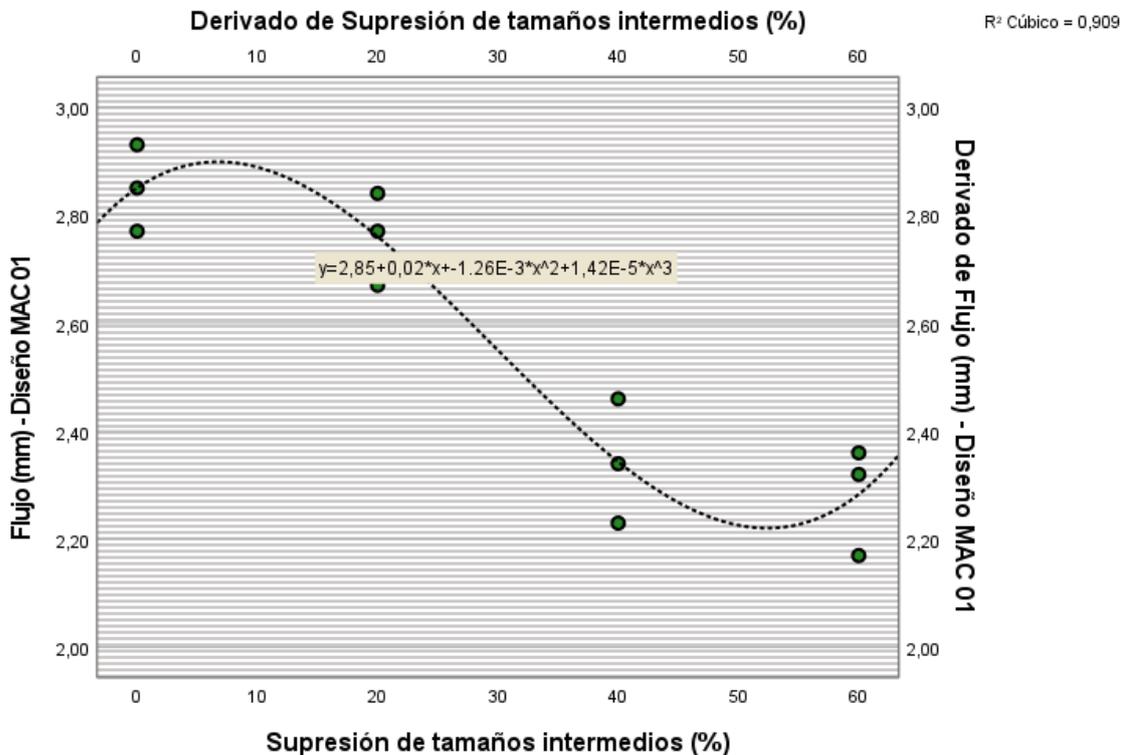


Ilustración 45: Diagrama de burbujas para el flujo del diseño MAC 01

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

#### 4.8.1.1. Resistencia a la compresión para diseño MAC 01

- Detallado estadístico:

En el siguiente esquema estadístico, se presentan los detallados resultantes de los datos registrados de la resistencia a la compresión resultante al realizar el ensayo de inmersión compresión a 60°C para la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01 en relación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios.

Tabla 30: Detallado estadístico resistencia a la compresión diseño MAC 01

Supresión de tamaños intermedios (%)			Estadístico	Error estándar	
Resistencia a la compresión (Mpa) - Diseño MAC 01	0	Media	1,42933	,012032	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,37756	
			Límite superior	1,48110	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	1,42500		
		Varianza	,000		
		Desviación estándar	,020841		
		Mínimo	1,411		
		Máximo	1,452		
		Rango	,041		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	,895	1,225	
		Curtosis	.		
			20	Media	1,46300
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			1,40427	
	Límite superior			1,52173	
Media recortada al 5%	.				
Mediana	1,46600				
Varianza	,001				
Desviación estándar	,023643				
Mínimo	1,438				
Máximo	1,485				
Rango	,047				
Rango intercuartil	.				
Asimetría	-,562			1,225	
Curtosis	.				
	40			Media	1,66900
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,60562	
			Límite superior	1,73238	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	1,66800		
		Varianza	,001		
		Desviación estándar	,025515		
		Mínimo	1,644		
		Máximo	1,695		
		Rango	,051		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	,176	1,225	
		Curtosis	.		
			60	Media	1,65900

<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	1,59562	
	<b>Límite superior</b>	1,72238	
<b>Media recortada al 5%</b>		.	
<b>Mediana</b>		1,65800	
<b>Varianza</b>		,001	
<b>Desviación estándar</b>		,025515	
<b>Mínimo</b>		1,634	
<b>Máximo</b>		1,685	
<b>Rango</b>		,051	
<b>Rango intercuartil</b>		.	
<b>Asimetría</b>		,176	1,225
<b>Curtosis</b>		.	.

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Distribución paramétrica:

Para determinar la distribución de los resultados de la resistencia a la compresión para la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de la resistencia a la compresión del diseño MAC 01 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de la resistencia a la compresión del diseño MAC 01 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico, se comprueba que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde las significancias no bajan del máximo establecido de 0,05 como valor de referencia. Para la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” en función de la variable dependiente “resistencia a la compresión del diseño MAC 01”.

Tabla 31: Distribución paramétrica compresión del diseño MAC 01

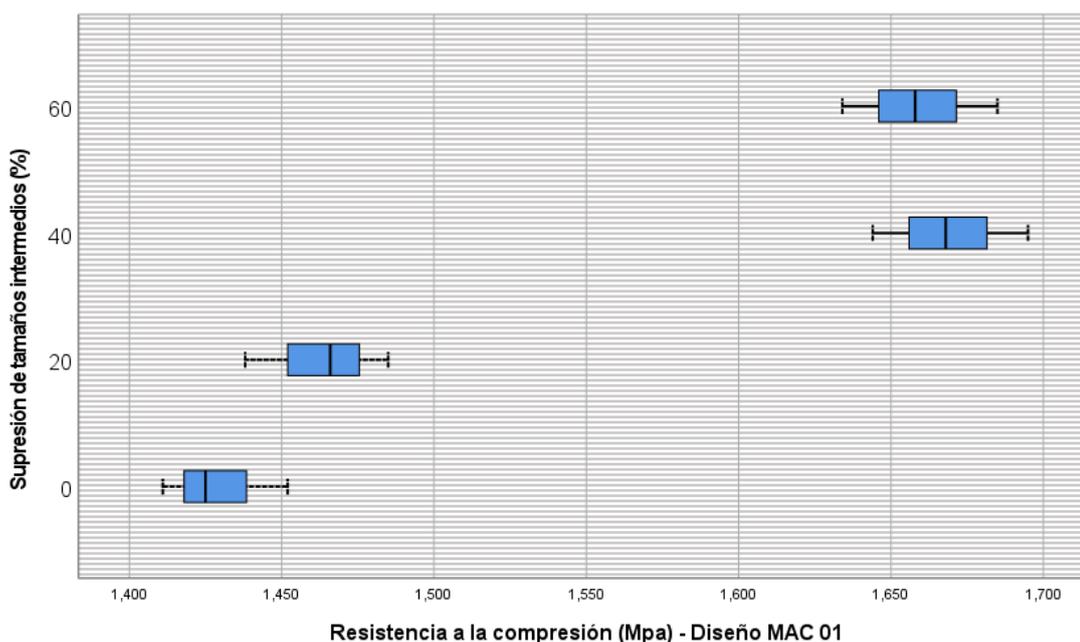
	Supresión de tamaños intermedios (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Resistencia a la compresión (Mpa) - Diseño MAC 01</b>	<b>0</b>	,249	3	.	,968	3	,654
	<b>20</b>	,217	3	.	,988	3	,790
	<b>40</b>	,182	3	.	,999	3	,935
	<b>60</b>	,182	3	.	,999	3	,935

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Gráfica de cajas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de la resistencia a la compresión al realizar el ensayo de inmersión compresión de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01 en relación con el porcentaje de supresión de tamaños intermedios, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Ilustración 46: Gráfica de cajas para compresión del diseño MAC 01*

*Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023*

- Prueba bivariada Pearson:

Para la distribución de datos normal de los resultados de la resistencia a la compresión del diseño MAC 01, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de 0.899, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “resistencia a la compresión del diseño MAC 01” y la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” es positiva alta.

Tabla 32: Prueba bivariada a la compresión del diseño MAC 01

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Resistencia a la compresión (Mpa) - Diseño MAC 01
Supresión de tamaños intermedios (%)	Correlación de Pearson	1	,899**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	12	12
Resistencia a la compresión (Mpa) - Diseño MAC 01	Correlación de Pearson	,899**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Diagrama de burbujas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con la línea de ajuste y su respectiva ecuación resultante del análisis de la distribución normal entre la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios y la resistencia a la compresión del diseño MAC 01, observando un comportamiento directamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.969.

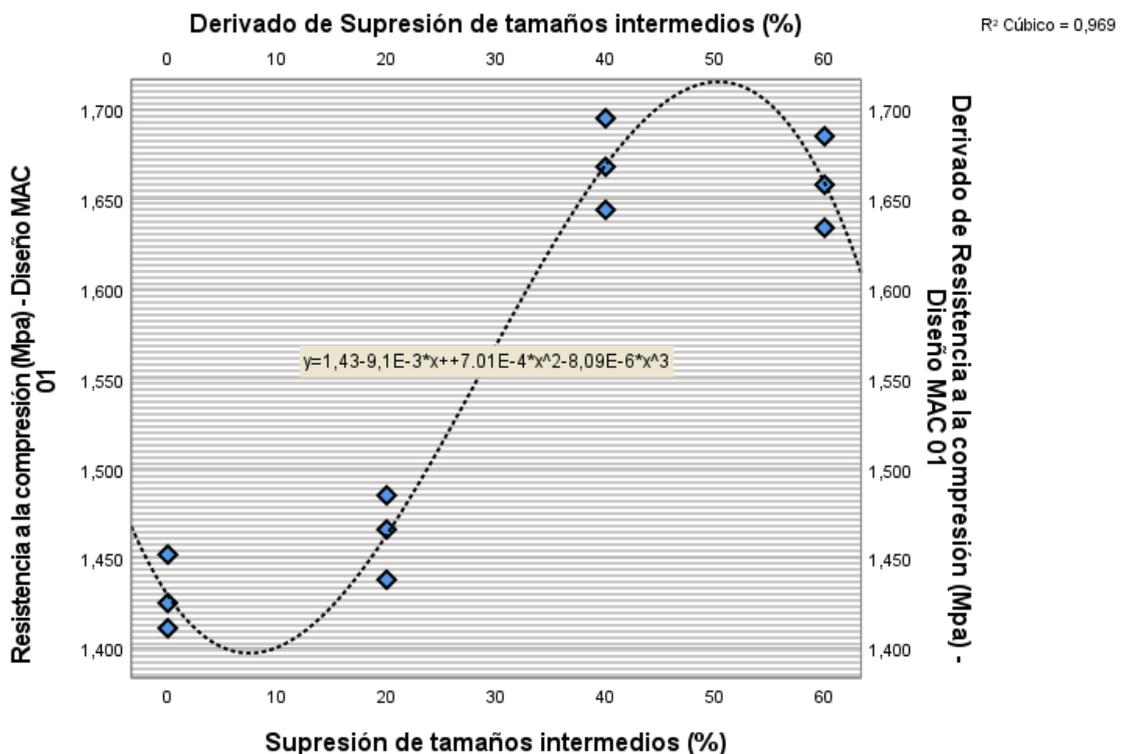


Ilustración 47: Diagrama de burbujas para la compresión diseño MAC 01

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

#### 4.8.1.1. Ahuellamiento para diseño MAC 01

- Detallado estadístico:

En el siguiente esquema estadístico, se presentan los detallados resultantes de los datos registrados del ahuellamiento resultante al realizar el ensayo de rueda de Hamburgo de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01 en relación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios.

Tabla 33: Detallado estadístico para el ahuellamiento del diseño MAC 01

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Estadístico	Error estándar	
<b>Ahuellamiento (mm) - Diseño MAC 01</b>	<b>0</b>	<b>Media</b>	11,700	,2517	
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	10,617	
			<b>Límite superior</b>	12,783	
	<b>Media recortada al 5%</b>	.			
	<b>Mediana</b>	11,900			
	<b>Varianza</b>	,190			
	<b>Desviación estándar</b>	,4359			
	<b>Mínimo</b>	11,2			
	<b>Máximo</b>	12,0			
	<b>Rango</b>	,8			
	<b>Rango intercuartil</b>	.			
	<b>Asimetría</b>	-1,630	1,225		
	<b>Curtosis</b>	.	.		
	<b>20</b>	<b>Media</b>	<b>Media</b>	10,900	,2646
			<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	9,762
<b>Límite superior</b>				12,038	
<b>Media recortada al 5%</b>		.			
<b>Mediana</b>		10,800			
<b>Varianza</b>		,210			
<b>Desviación estándar</b>		,4583			
<b>Mínimo</b>		10,5			
<b>Máximo</b>		11,4			
<b>Rango</b>		,9			
<b>Rango intercuartil</b>		.			
<b>Asimetría</b>		,935	1,225		
<b>Curtosis</b>		.	.		
<b>40</b>		<b>Media</b>	<b>Media</b>	6,100	,2309
			<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	5,106
	<b>Límite superior</b>			7,094	
	<b>Media recortada al 5%</b>	.			
	<b>Mediana</b>	6,100			
	<b>Varianza</b>	,160			
	<b>Desviación estándar</b>	,4000			
	<b>Mínimo</b>	5,7			
	<b>Máximo</b>	6,5			
	<b>Rango</b>	,8			
	<b>Rango intercuartil</b>	.			
	<b>Asimetría</b>	,000	1,225		
	<b>Curtosis</b>	.	.		
	<b>60</b>	<b>Media</b>	<b>Media</b>	4,500	,3215

<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	3,117	
	<b>Límite superior</b>	5,883	
<b>Media recortada al 5%</b>		.	
<b>Mediana</b>		4,600	
<b>Varianza</b>		,310	
<b>Desviación estándar</b>		,5568	
<b>Mínimo</b>		3,9	
<b>Máximo</b>		5,0	
<b>Rango</b>		1,1	
<b>Rango intercuartil</b>		.	
<b>Asimetría</b>		-,782	1,225
<b>Curtosis</b>		.	

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Distribución paramétrica:

Para determinar la distribución de los resultados de ahuellamiento para la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de ahuellamiento del diseño MAC 01 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de ahuellamiento del diseño MAC 01 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico, se comprueba que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde las significancias no bajan del máximo establecido de 0,05 como valor de referencia. Para la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” en función de la variable dependiente “ahuellamiento del diseño MAC 01”.

Tabla 34: Distribución paramétrica para el ahuellamiento diseño MAC 01

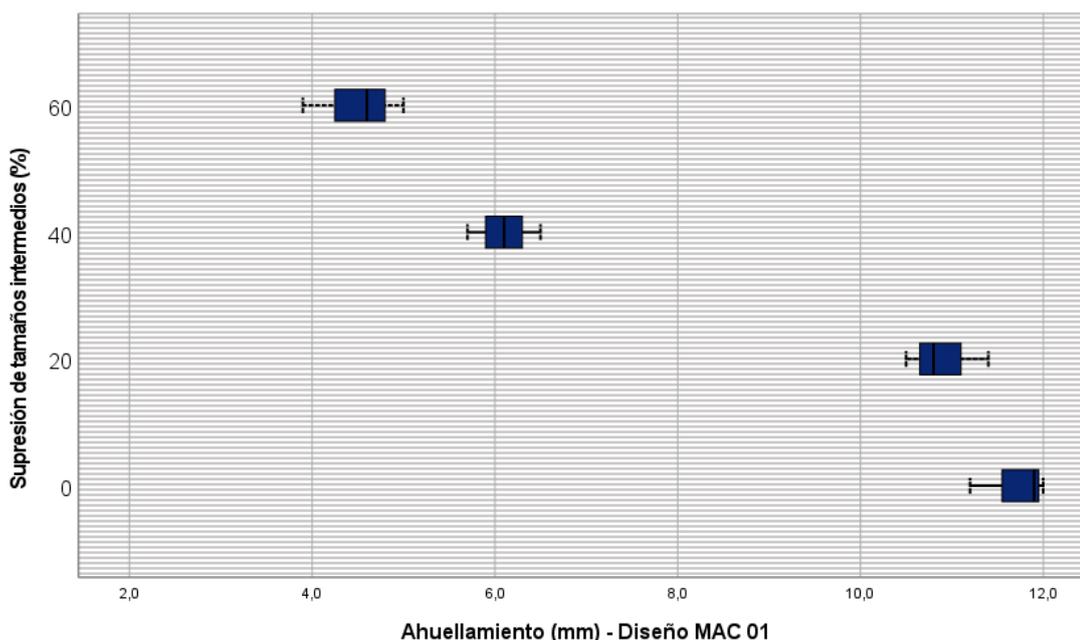
	Supresión de tamaños intermedios (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ahuellamiento (mm) - Diseño MAC 01	0	,343	3	.	,842	3	,220
	20	,253	3	.	,964	3	,637
	40	,175	3	.	1,000	3	1,000
	60	,238	3	.	,976	3	,702

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Gráfica de cajas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de ahuellamiento al realizar el ensayo de rueda de Hamburgo de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 01 en relación con el porcentaje de supresión de tamaños intermedios, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Ilustración 48: Gráfica de cajas para el ahuellamiento del diseño MAC 01*

*Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023*

- Prueba bivariada Pearson:

Para la distribución de datos normal de los resultados de ahuellamiento del diseño MAC 01, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.955 lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “ahuellamiento del diseño MAC 01” y la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” es negativa muy alta.

Tabla 35: Prueba bivariada para el ahuellamiento del diseño MAC 01

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Ahuellamiento (mm) - Diseño MAC 01
Supresión de tamaños intermedios (%)	Correlación de Pearson	1	-,955**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	12	12
Ahuellamiento (mm) - Diseño MAC 01	Correlación de Pearson	-,955**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Diagrama de burbujas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con la línea de ajuste y su respectiva ecuación resultante del análisis de la distribución normal entre la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios y el ahuellamiento del diseño MAC 01, observando un comportamiento directamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.985.

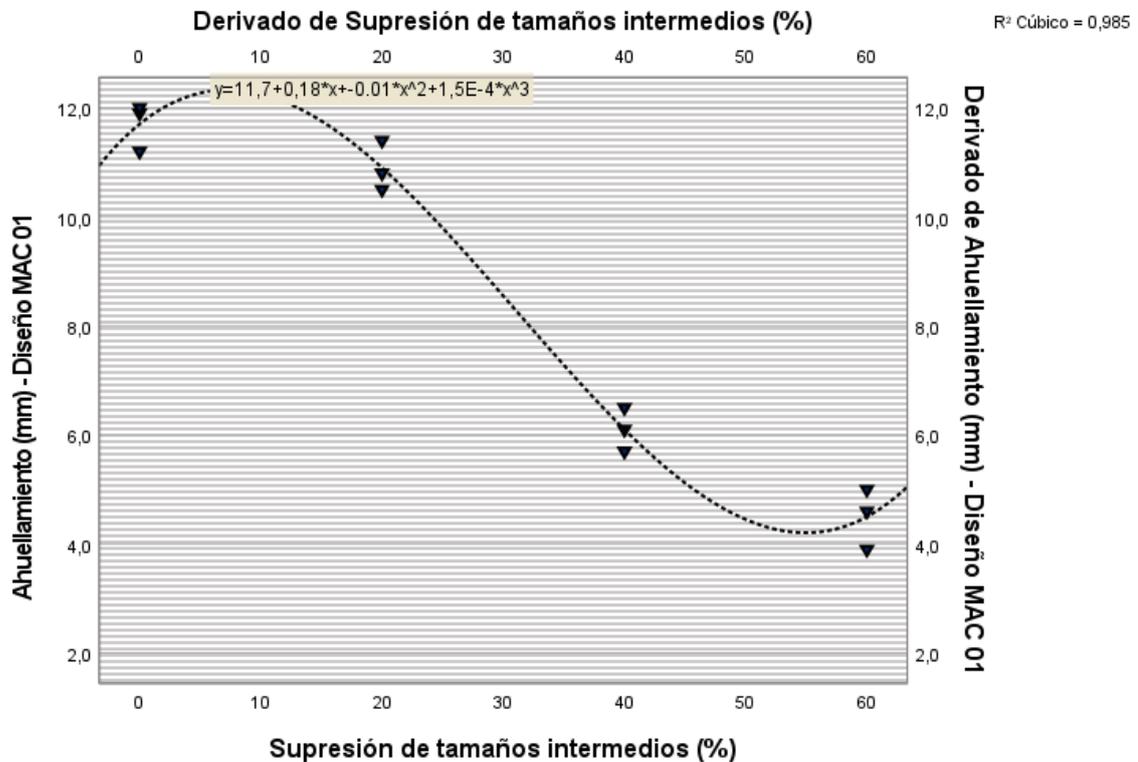


Ilustración 49: Gráfica de cajas para el ahuellamiento del diseño MAC 01

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

## 4.8.2. Diseño MAC 02 – Supresión de Agregados

### 4.8.2.1. Estabilidad para diseño MAC 02

- Detallado estadístico:

En el siguiente esquema estadístico, se presentan los detallados resultantes de los datos registrados de la estabilidad resultante al realizar el ensayo de Marshall de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02 en relación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios.

Tabla 36: Detallado estadístico para la estabilidad del diseño MAC 02

		<i>Supresión de tamaños intermedios (%)</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Error estándar</i>	
<b>Estabilidad (kg) - Diseño MAC 02</b>	<b>0</b>	<b>Media</b>	857,6400	3,76857	
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	841,4251	
			<b>Límite superior</b>	873,8549	
		<b>Media recortada al 5%</b>	.		
		<b>Mediana</b>	858,7200		
		<b>Varianza</b>	42,606		
		<b>Desviación estándar</b>	6,52736		
		<b>Mínimo</b>	850,64		
		<b>Máximo</b>	863,56		
		<b>Rango</b>	12,92		
		<b>Rango intercuartil</b>	.		
		<b>Asimetría</b>	-,724	1,225	
		<b>Curtosis</b>	.		
			<b>20</b>	<b>Media</b>	837,7133
<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>			818,8399	
	<b>Límite superior</b>			856,5867	
<b>Media recortada al 5%</b>	.				
<b>Mediana</b>	839,1500				
<b>Varianza</b>	57,723				
<b>Desviación estándar</b>	7,59757				
<b>Mínimo</b>	829,50				
<b>Máximo</b>	844,49				
<b>Rango</b>	14,99				
<b>Rango intercuartil</b>	.				
<b>Asimetría</b>	-,821			1,225	
<b>Curtosis</b>	.				
	<b>40</b>			<b>Media</b>	854,2100
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	825,0010	
			<b>Límite superior</b>	883,4190	
		<b>Media recortada al 5%</b>	.		
		<b>Mediana</b>	855,1500		
		<b>Varianza</b>	138,256		
		<b>Desviación estándar</b>	11,75821		
		<b>Mínimo</b>	842,01		
		<b>Máximo</b>	865,47		
		<b>Rango</b>	23,46		
		<b>Rango intercuartil</b>	.		
		<b>Asimetría</b>	-,357	1,225	
		<b>Curtosis</b>	.		

60	<b>Media</b>		898,6700	4,61722
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	878,8037	
		<b>Límite superior</b>	918,5363	
	<b>Media recortada al 5%</b>			
	<b>Mediana</b>		899,8200	
	<b>Varianza</b>		63,956	
	<b>Desviación estándar</b>		7,99726	
	<b>Mínimo</b>		890,16	
	<b>Máximo</b>		906,03	
	<b>Rango</b>		15,87	
	<b>Rango intercuartil</b>			
	<b>Asimetría</b>		-,634	1,225
	<b>Curtosis</b>			

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Distribución paramétrica:

Para determinar la distribución de los resultados de estabilidad para la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de estabilidad del diseño MAC 02 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de estabilidad del diseño MAC 02 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico, se comprueba que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde las significancias no bajan del máximo establecido de 0,05 como valor de referencia. Para la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” en función de la variable dependiente “estabilidad del diseño MAC 02”.

Tabla 37: Distribución paramétrica para la estabilidad del diseño MAC 02

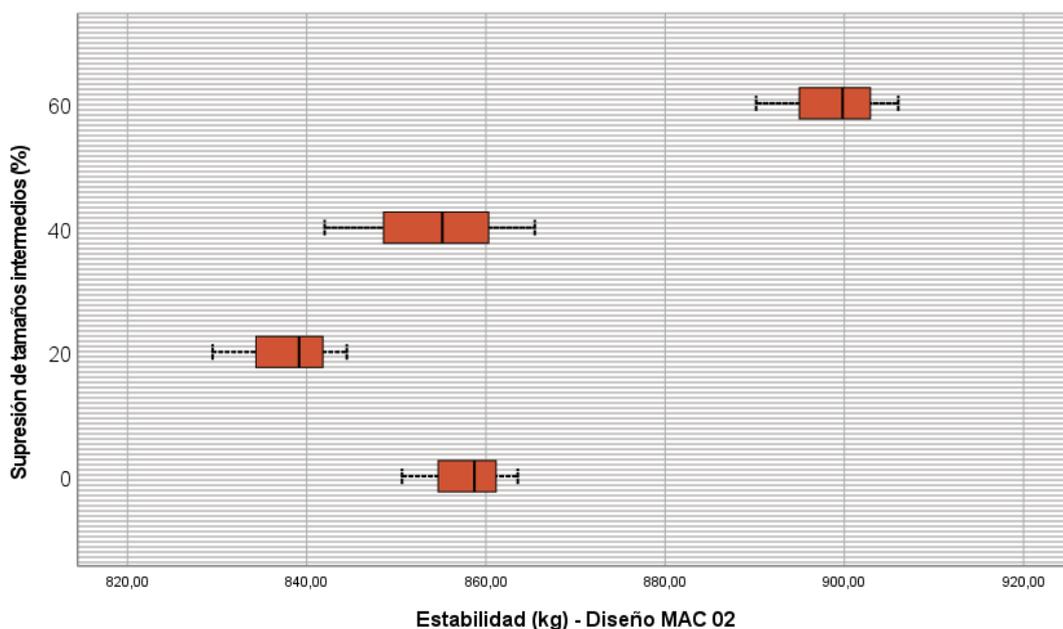
	Supresión de tamaños intermedios (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad (kg) - Diseño MAC 02	0	,232	3	.	,979	3	,725
	20	,242	3	.	,973	3	,686
	40	,199	3	.	,995	3	,868
	60	,224	3	.	,984	3	,762

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Gráfica de cajas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de estabilidad al realizar el ensayo de Marshall de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02 en relación con el porcentaje de supresión de tamaños intermedios, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Ilustración 50: Gráfica de cajas para la estabilidad del diseño MAC 02*

*Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023*

- Prueba bivariada Pearson:

Para la distribución de datos normal de los resultados de estabilidad del diseño MAC 02 se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de 0.663, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “estabilidad del diseño MAC 02” y la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” es positiva moderada.

Tabla 38: Prueba bivariada para la estabilidad del diseño MAC 02

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Estabilidad (kg) - Diseño MAC 02
Supresión de tamaños intermedios (%)	Correlación de Pearson	1	,663
	Sig. (bilateral)		,019
	N	12	12
Estabilidad (kg) - Diseño MAC 02	Correlación de Pearson	,663	1
	Sig. (bilateral)	,019	
	N	12	12

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Diagrama de burbujas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con la línea de ajuste y su respectiva ecuación resultante del análisis de la distribución normal entre la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios y la estabilidad del diseño MAC 02, observando un comportamiento directamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.909.

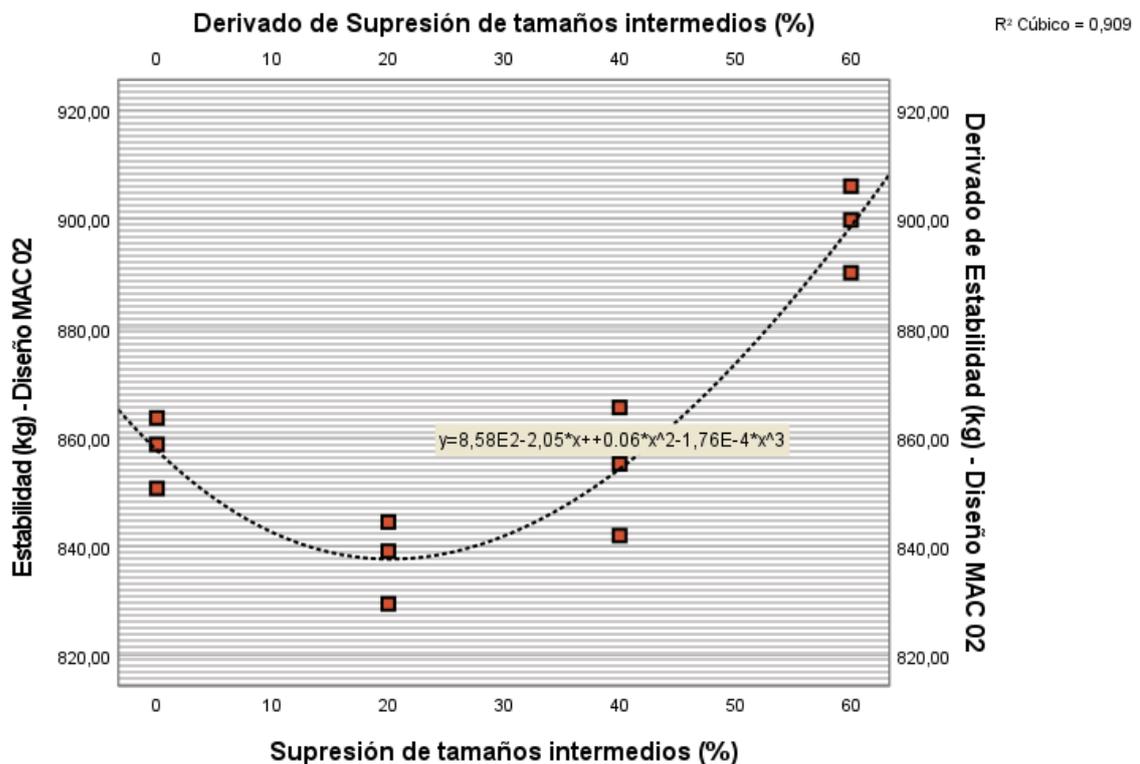


Ilustración 51: Diagrama burbujas para la estabilidad del diseño MAC 02

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

#### 4.8.2.2. Flujo para diseño MAC 02

- Detallado estadístico:

En el siguiente esquema estadístico, se presentan los detallados resultantes de los datos registrados del flujo resultante al realizar el ensayo de Marshall de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02 en relación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios.

Tabla 39: Detallado estadístico para el flujo del diseño MAC 02

		<i>Supresión de tamaños intermedios (%)</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Error estándar</i>	
<b>Flujo (mm) - Diseño MAC 02</b>	<b>0</b>	<b>Media</b>	2,6667	,04410	
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,4769	
			<b>Límite superior</b>	2,8564	
		<b>Media recortada al 5%</b>	.		
		<b>Mediana</b>	2,6500		
		<b>Varianza</b>	,006		
		<b>Desviación estándar</b>	,07638		
		<b>Mínimo</b>	2,60		
		<b>Máximo</b>	2,75		
		<b>Rango</b>	,15		
		<b>Rango intercuartil</b>	.		
		<b>Asimetría</b>	,935	1,225	
		<b>Curtosis</b>	.		
			<b>20</b>	<b>Media</b>	2,5233
<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>			2,3471	
	<b>Límite superior</b>			2,6996	
<b>Media recortada al 5%</b>	.				
<b>Mediana</b>	2,5100				
<b>Varianza</b>	,005				
<b>Desviación estándar</b>	,07095				
<b>Mínimo</b>	2,46				
<b>Máximo</b>	2,60				
<b>Rango</b>	,14				
<b>Rango intercuartil</b>	.				
<b>Asimetría</b>	,816			1,225	
<b>Curtosis</b>	.				
	<b>40</b>			<b>Media</b>	2,4000
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,1792	
			<b>Límite superior</b>	2,6208	
		<b>Media recortada al 5%</b>	.		
		<b>Mediana</b>	2,3700		
		<b>Varianza</b>	,008		
		<b>Desviación estándar</b>	,08888		
		<b>Mínimo</b>	2,33		
		<b>Máximo</b>	2,50		
		<b>Rango</b>	,17		
		<b>Rango intercuartil</b>	.		
		<b>Asimetría</b>	1,346	1,225	
		<b>Curtosis</b>	.		
			<b>60</b>	<b>Media</b>	2,1233
<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>			1,9736	
	<b>Límite superior</b>			2,2731	

<b>Media recortada al 5%</b>	.	
<b>Mediana</b>	2,1300	
<b>Varianza</b>	,004	
<b>Desviación estándar</b>	,06028	
<b>Mínimo</b>	2,06	
<b>Máximo</b>	2,18	
<b>Rango</b>	,12	
<b>Rango intercuartil</b>	.	
<b>Asimetría</b>	-,492	1,225
<b>Curtosis</b>	.	

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Distribución paramétrica:

Para determinar la distribución de los resultados de flujo para la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de flujo del diseño MAC 02 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de flujo del diseño MAC 02 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico, se comprueba que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde las significancias no bajan del máximo establecido de 0,05 como valor de referencia. Para la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” en función de la variable dependiente “flujo del diseño MAC 02”.

Tabla 40: Distribución paramétrica para el flujo del diseño MAC 02

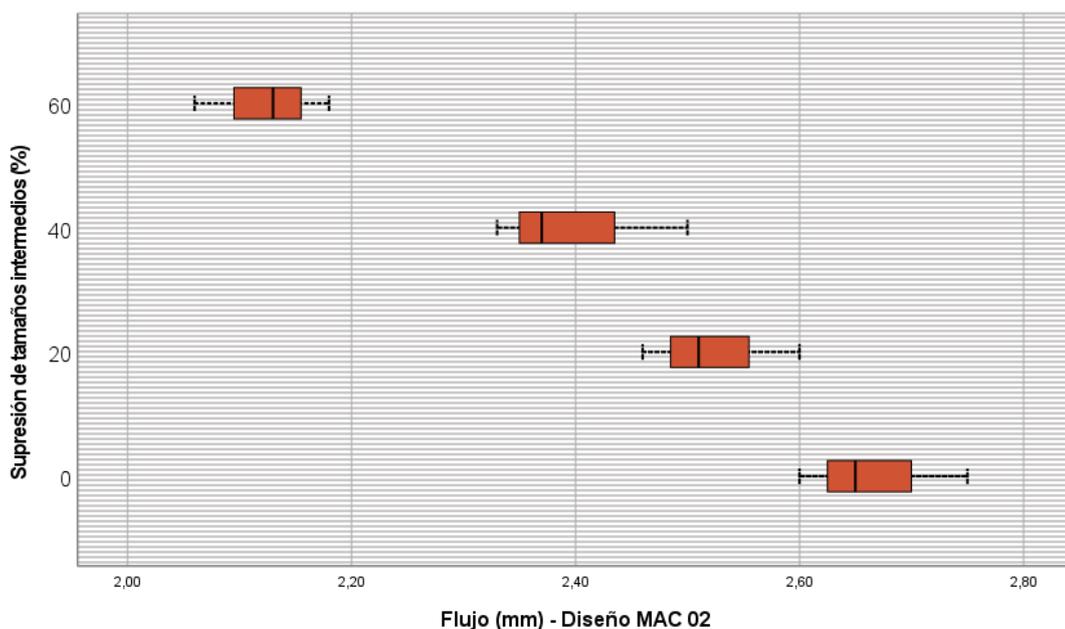
	Supresión de tamaños intermedios (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Flujo (mm) - Diseño MAC 02	0	,253	3	.	,964	3	,637
	20	,241	3	.	,974	3	,688
	40	,299	3	.	,915	3	,433
	60	,211	3	.	,991	3	,817

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Gráfica de cajas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de flujo al realizar el ensayo de Marshall de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02 en relación con el porcentaje de supresión de tamaños intermedios, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Ilustración 52: Gráfica de cajas para el flujo del diseño MAC 02*

*Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023*

- Prueba bivariada Pearson:

Para la distribución de datos normal de los resultados de flujo del diseño MAC 02, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.938 lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “flujo del diseño MAC 02” y la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” es negativa muy alta.

Tabla 41: Prueba bivariada para el flujo del diseño MAC 02

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Flujo (mm) - Diseño MAC 02
Supresión de tamaños intermedios (%)	Correlación de Pearson	1	-,938**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	12	12
Flujo (mm) - Diseño MAC 02	Correlación de Pearson	-,938**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Diagrama de burbujas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con la línea de ajuste y su respectiva ecuación resultante del análisis de la distribución normal entre la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios y el flujo del diseño MAC 02, observando un comportamiento directamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.914.

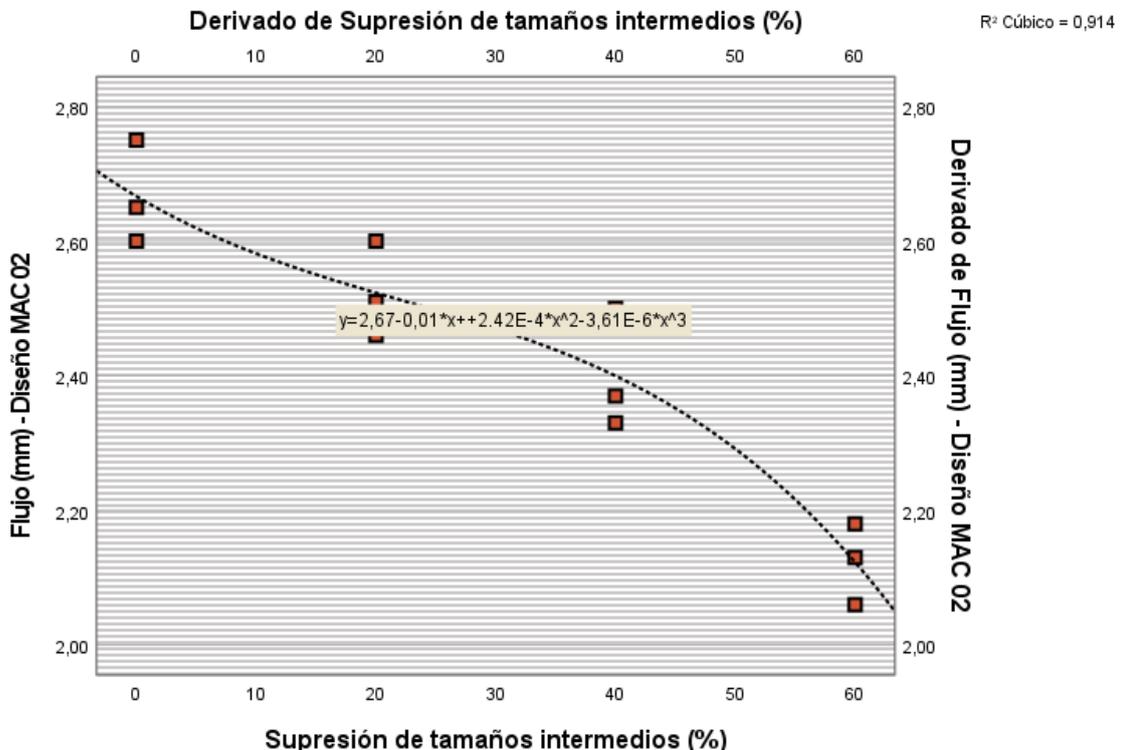


Ilustración 53: Diagrama de burbujas para el flujo del diseño MAC 02

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

#### 4.8.2.3. Resistencia a la compresión para diseño MAC 02

- Detallado estadístico:

En el siguiente esquema estadístico, se presentan los detallados resultantes de los datos registrados de la resistencia a la compresión resultante al realizar el ensayo de inmersión compresión a 60°C para la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02 en relación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios.

Tabla 42: Detallado estadístico para compresión del diseño MAC 02

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Estadístico	Error estándar	
Resistencia a la compresión (Mpa) - Diseño MAC 02	0	Media	1,35533	,018352	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,27637	
			Límite superior	1,43429	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	1,34500		
		Varianza	,001		
		Desviación estándar	,031786		
		Mínimo	1,330		
		Máximo	1,391		
		Rango	,061		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	1,308	1,225	
		Curtosis	.		
		20	20	Media	1,48667
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			1,39341	
	Límite superior			1,57992	
Media recortada al 5%	.				
Mediana	1,49400				
Varianza	,001				
Desviación estándar	,037541				
Mínimo	1,446				
Máximo	1,520				
Rango	,074				
Rango intercuartil	.				
Asimetría	-,845			1,225	
Curtosis	.				
40	40			Media	1,62867
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,56877	
			Límite superior	1,68856	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	1,62600		
		Varianza	,001		
		Desviación estándar	,024111		
		Mínimo	1,606		
		Máximo	1,654		
		Rango	,048		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	,492	1,225	
		Curtosis	.		
		60	60	Media	1,70433

<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	1,60924	
	<b>Límite superior</b>	1,79943	
<b>Media recortada al 5%</b>		.	
<b>Mediana</b>		1,69900	
<b>Varianza</b>		,001	
<b>Desviación estándar</b>		,038280	
<b>Mínimo</b>		1,669	
<b>Máximo</b>		1,745	
<b>Rango</b>		,076	
<b>Rango intercuartil</b>		.	
<b>Asimetría</b>		,615	1,225
<b>Curtosis</b>		.	

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Distribución paramétrica:

Para determinar la distribución de los resultados de la resistencia a la compresión para la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de la resistencia a la compresión del diseño MAC 02 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de la resistencia a la compresión del diseño MAC 02 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico, se comprueba que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde las significancias no bajan del máximo establecido de 0,05 como valor de referencia. Para la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” en función de la variable dependiente “resistencia a la compresión del diseño MAC 02”.

Tabla 43: Distribución paramétrica para compresión del diseño MAC 02

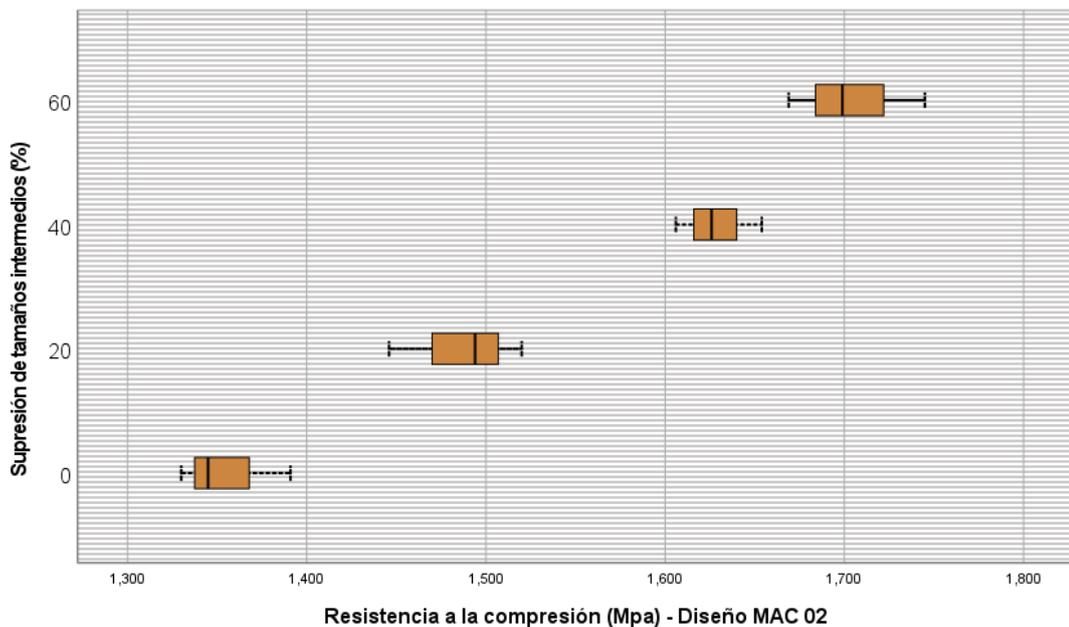
	Supresión de tamaños intermedios (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión (Mpa) - Diseño MAC 02	0	,294	3	.	,921	3	,455
	20	,244	3	.	,971	3	,675
	40	,211	3	.	,991	3	,817
	60	,222	3	.	,985	3	,769

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Gráfica de cajas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de la resistencia a la compresión al realizar el ensayo de inmersión compresión de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02 en relación con el porcentaje de supresión de tamaños intermedios, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Ilustración 54: Gráfica de cajas para la compresión del diseño MAC 02*

*Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023*

- Prueba bivariada Pearson:

Para la distribución de datos normal de los resultados de la resistencia a la compresión del diseño MAC 02, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de 0.973 lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “resistencia a la compresión del diseño MAC 02” y la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” es positiva muy alta.

Tabla 44: Prueba bivariada para la resistencia compresión diseño MAC 02

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Resistencia a la compresión (Mpa) - Diseño MAC 02
Supresión de tamaños intermedios (%)	Correlación de Pearson	1	,973**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	12	12
Resistencia a la compresión (Mpa) - Diseño MAC 02	Correlación de Pearson	,973**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Diagrama de burbujas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con la línea de ajuste y su respectiva ecuación resultante del análisis de la distribución normal entre la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios y la resistencia a la compresión del diseño MAC 02, observando un comportamiento directamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.960.

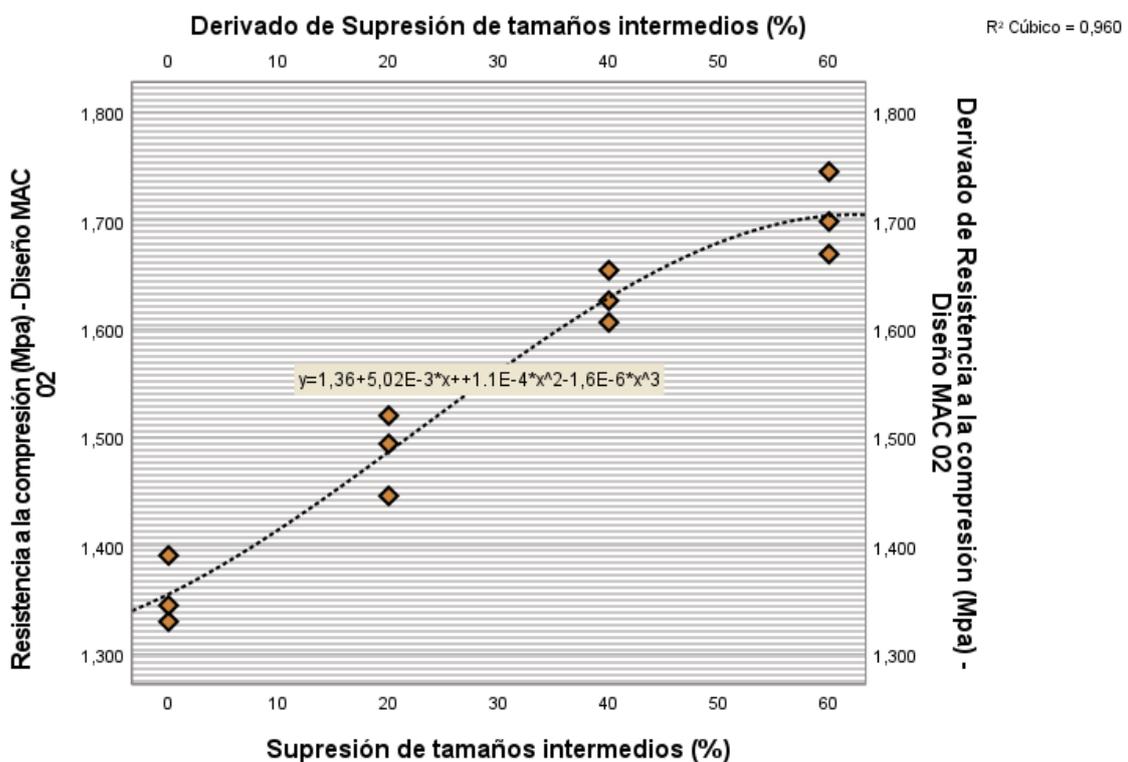


Ilustración 55: Diagrama de burbujas para compresión del diseño MAC 02

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

#### 4.8.2.4. Ahuellamiento para diseño MAC 02

- Detallado estadístico:

En el siguiente esquema estadístico, se presentan los detallados resultantes de los datos registrados del ahuellamiento resultante al realizar el ensayo de rueda de Hamburgo de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02 en relación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios.

Tabla 45: Detallado estadístico para el ahuellamiento del diseño MAC 02

Supresión de tamaños intermedios (%)		Estadístico	Error estándar	
Ahuellamiento (mm) - Diseño MAC 02	0	<b>Media</b>	12,600	,2309
	95% de intervalo de confianza para la media	<b>Límite inferior</b>	11,606	
		<b>Límite superior</b>	13,594	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		12,600	
	<b>Varianza</b>		,160	
	<b>Desviación estándar</b>		,4000	
	<b>Mínimo</b>		12,2	
	<b>Máximo</b>		13,0	
	<b>Rango</b>		,8	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		,000	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	.
20		<b>Media</b>	12,300	,3215
	95% de intervalo de confianza para la media	<b>Límite inferior</b>	10,917	
		<b>Límite superior</b>	13,683	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		12,400	
	<b>Varianza</b>		,310	
	<b>Desviación estándar</b>		,5568	
	<b>Mínimo</b>		11,7	
	<b>Máximo</b>		12,8	
	<b>Rango</b>		1,1	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		-,782	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	.
40		<b>Media</b>	7,800	,3464
	95% de intervalo de confianza para la media	<b>Límite inferior</b>	6,310	
		<b>Límite superior</b>	9,290	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		7,800	
	<b>Varianza</b>		,360	
	<b>Desviación estándar</b>		,6000	
	<b>Mínimo</b>		7,2	
	<b>Máximo</b>		8,4	
	<b>Rango</b>		1,2	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		,000	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	.
60		<b>Media</b>	5,400	,2309

<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	4,406	
	<b>Límite superior</b>	6,394	
<b>Media recortada al 5%</b>		.	
<b>Mediana</b>		5,400	
<b>Varianza</b>		,160	
<b>Desviación estándar</b>		,4000	
<b>Mínimo</b>		5,0	
<b>Máximo</b>		5,8	
<b>Rango</b>		,8	
<b>Rango intercuartil</b>		.	
<b>Asimetría</b>		,000	1,225
<b>Curtosis</b>		.	.

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Distribución paramétrica:

Para determinar la distribución de los resultados de ahuellamiento para la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de ahuellamiento del diseño MAC 02 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de ahuellamiento del diseño MAC 02 ante la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico, se comprueba que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde las significancias no bajan del máximo establecido de 0,05 como valor de referencia. Para la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” en función de la variable dependiente “ahuellamiento del diseño MAC 02”.

Tabla 46: Distribución paramétrica para el ahuellamiento diseño MAC 02

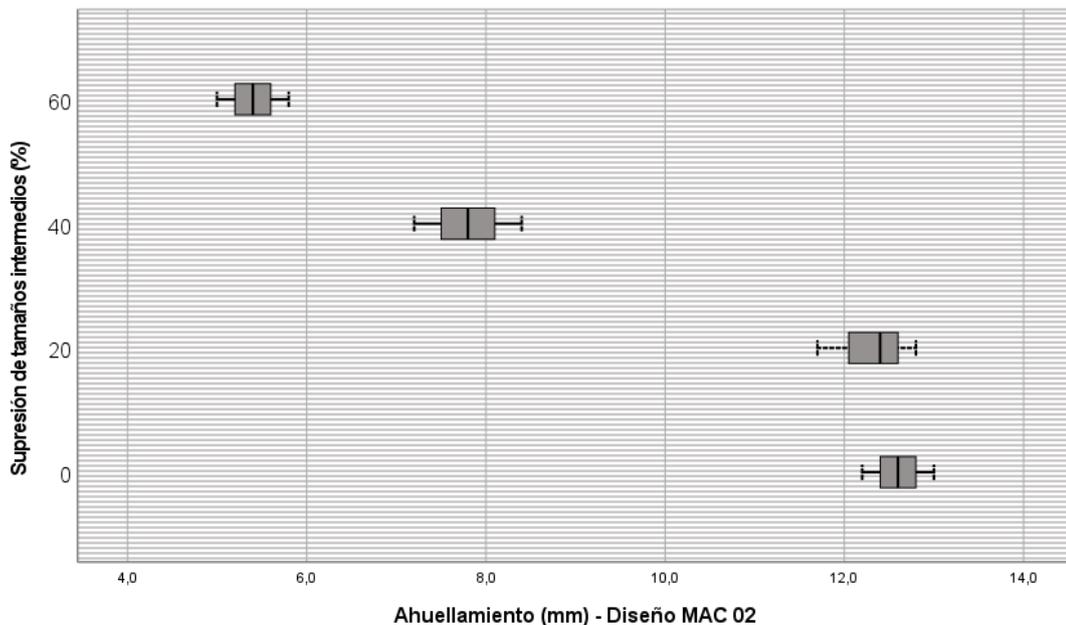
	Supresión de tamaños intermedios (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Ahuellamiento (mm) - Diseño MAC 02</b>	<b>0</b>	,175	3	.	1,000	3	1,000
	<b>20</b>	,238	3	.	,976	3	,702
	<b>40</b>	,175	3	.	1,000	3	1,000
	<b>60</b>	,175	3	.	1,000	3	1,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

- Gráfica de cajas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de ahuellamiento al realizar el ensayo de rueda de Hamburgo de la mezcla asfáltica en caliente diseñada con la gradación MAC 02 en relación con el porcentaje de supresión de tamaños intermedios, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Ilustración 56: Gráfica de cajas para el ahuellamiento del diseño MAC 02*

*Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023*

- Prueba bivariada Pearson:

Para la distribución de datos normal de los resultados de ahuellamiento del diseño MAC 02, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.949, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “ahuellamiento del diseño MAC 02” y la variable independiente “porcentaje de supresión de tamaños intermedios” es negativa muy alta.

Tabla 47: Prueba bivariada para el ahuellamiento del diseño MAC 02

		Supresión de tamaños intermedios (%)	Ahuellamiento (mm) - Diseño MAC 02
Supresión de tamaños intermedios (%)	Correlación de Pearson	1	-.949**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	12	12
Ahuellamiento (mm) - Diseño MAC 02	Correlación de Pearson	-.949**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Producción Propia en SPSS Statistics 2023

- Diagrama de burbujas:

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con la línea de ajuste y su respectiva ecuación resultante del análisis de la distribución normal entre la variación del porcentaje de supresión de tamaños intermedios y el ahuellamiento del diseño MAC 02, observando un comportamiento directamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.983.

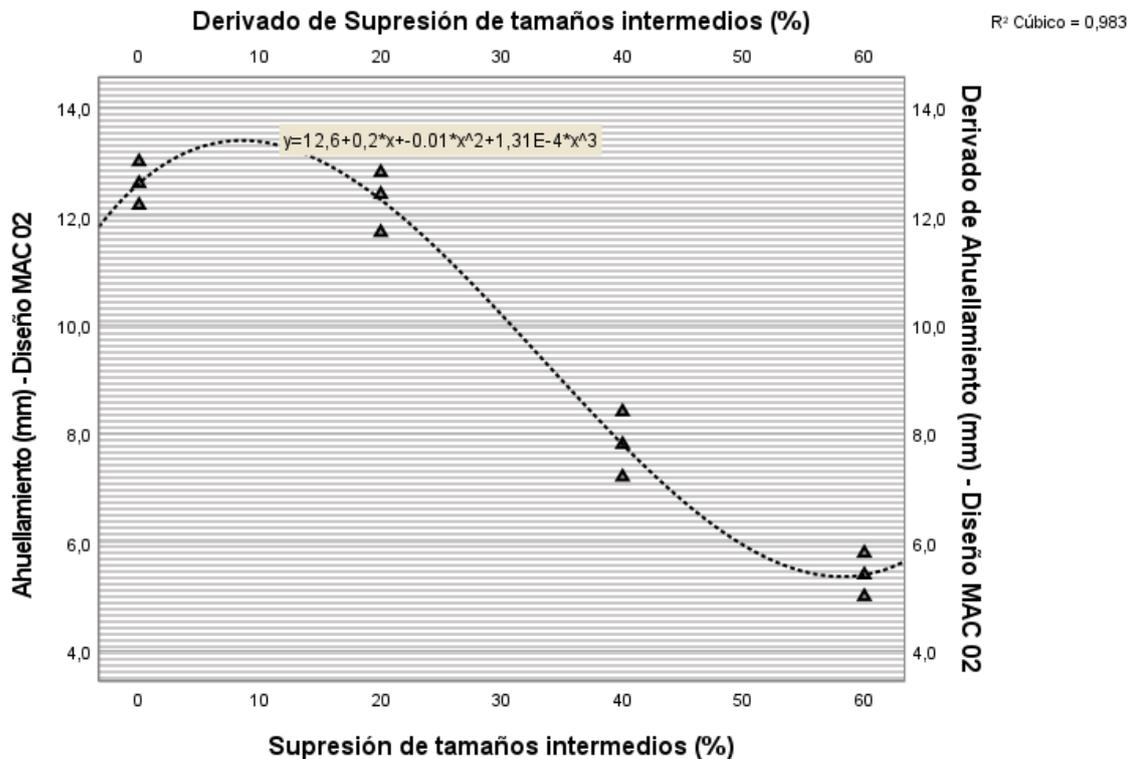


Ilustración 57: Diagrama de burbujas para ahuellamiento diseño MAC 02

Fuente: Producción propia en SPSS Statistics 2023

## CONCLUSIONES

En la presente investigación, se estudió el proceso de alteración granulométrica correspondiente a una progresión entre una gradación continua y una gradación con un punto de discontinuidad, llegando a las siguientes conclusiones.

1. El proceso de alteración granulométrica genera diversos efectos sobre las propiedades mecánicas y desempeño de mezclas asfálticas convencionales, esto debido a un reacomodo de las partículas intergranulares. Llegando a la conclusión de que al 60.0% en supresión de agregados intermedios (entre los tamices N°4 y N°10) para generar la discontinuidad granulométrica se llega a aumentar la estabilidad hasta 9.68%, reducir el ahuellamiento en 7.2mm y reducir el flujo hasta 20.38% cumpliendo con las disposiciones normativas. Es importante tener en consideración que la mejora granulométrica se encuentra entre los 50% y 60% de supresión en agregados intermedios, al encontrar que al realizar pruebas por fuera de este rango la mezcla se vería perjudicada perdiendo sus propiedades mecánicas y desempeño en vez de mejorarlas.
2. En función de la estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, se llega a la conclusión de que puede llegar a aumentar la resistencia de la mezcla entre los porcentajes de supresión al 50% y 60% por conseguir un adecuado reacomodo de partículas granulares, ya que en porcentajes inferiores la mezcla bajo su resistencia siendo perjudicial para la mezcla. De la misma forma el flujo presenta un decrecimiento representativo que predispone la mezcla a una ligera rigidización, pero cumpliendo con los parámetros normativos establecidos.
3. Del ensayo de resistencia a la humedad por inmersión compresión de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, se llegó a la conclusión de que existe un ligero aumento en la resistencia a la humedad hasta 13.94%, producto del reacomodo de partículas el mayor aprovechamiento del ligante asfáltico que impermeabiliza adecuadamente la mezcla.
4. El estudio del desempeño de la mezcla mediante el ensayo de ahuellamiento por rueda de Hamburgo en la granulometría alterada, por la supresión de los

tamaños intermedios del árido grueso, se llega una mejora notable evidenciada a través de los ensayos de laboratorio realizados, donde se puede llegar a afirmar que existe una gran deficiencia de las mezclas asfálticas convencionales al presentar valores de ahuellamiento muy elevados. Al emplear una supresión de agregados intermedios al 60% se encuentra un descenso de hasta 7.2 mm sobre la deformación máxima alcanzada por el ensayo de ahuellamiento.

## RECOMENDACIONES

1. Respecto de los resultados alcanzados en el presente estudio, se aconseja incorporar un capítulo alternativo en la normativa nacional que especifique el diseño de mezclas asfálticas discontinuas. Al contar con una gran diversidad geográfica a lo largo del territorio peruano, la opción de realizar mezclas asfálticas que aseguren un adecuado comportamiento ante la humedad y el ahuellamiento representa un gran avance a nivel tecnológico que incorpora como prioridad el desempeño de una mezcla asfáltica. Para lo cual es necesario continuar con el proceso de investigación que involucra realizar estudios complementarios que permitan factibilizar el empleo de mezclas asfálticas discontinuas.
2. Siguiendo la línea de investigación sobre el aporte a nivel técnico alcanzado, se recomienda realizar un tramo de prueba no menor a 5 kilómetros en algún tramo representativo de la red vial departamental. Es en coordinación con las entidades municipales correspondientes y el financiamiento necesario por parte del estado permitiría evaluar a escala real cómo este tipo de mezcla asfáltica discontinua presenta una buena predisposición a resistir la humedad y resistir el ahuellamiento, a la vez demostrar su comportamiento ante las condiciones intempestivas de la región y ante el paso de tráfico característico de la zona.
3. De acuerdo con la generación de un huso granulométrico discontinuo para la evaluación de la supresión de agregados intermedios, se encontró que se puede llegar a generar una mayor demanda de áridos de tamaños granulares muy específicos, lo cual podría llegar a acrecentar el costo en la producción de una mezcla asfáltica discontinua. Por lo que se recomienda realizar una evaluación minuciosa sobre los costos unitarios que se pueden llegar a acrecentar producto del diseño de este tipo de mezclas especiales o llegar a optimizar los procesos mediante ajustes específicos en proceso de producción de agregados para bajar los costes de producción.
4. Del estudio sobre el desempeño mediante la aplicación de la rueda de Hamburgo sobre las mezclas de gradación granulométrica con supresión de agregados intermedios se evidencio que las mezclas asfálticas convencionales presentan una gran susceptibilidad al ahuellamiento, en mayor media la mezcla

de MAC 02, por lo que se recomienda tener en consideración los factores de desempeño dentro del diseño de mezclas asfálticas convencionales, ya que el cumplir con las disposiciones normativas vigentes dentro de las propiedades mecánicas y volumétricas no asegura que la mezcla tenga una adecuada resistencia al ahuellamiento o al daño por humedad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar Velasquez, D. A. (2019). *Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y Superpave*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
2. Álvarez Hernandez, D. (2015). *Estudio sobre mezclas asfálticas discontinuas y su aplicabilidad en superficie de rodadura caso pista de aterrizaje aeropuerto internacional Rafael Nuñez de la ciudad de Cartagena*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
3. Amaya Diaz, E., Javier Betancour, C., & Javier Zorro, O. (2019). *Análisis del desempeño mecánico de las mezclas asfálticas tipo Stone Mastic (SMA) para aplicación como capa de rodadura en pavimentos de alto volumen de tránsito en Colombia*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
4. Asociación Argentina de Carreteras. (2019). *Carreteras*. Buenos Aires: AAC.
5. Asphalt Institute. (2020). *Asphalt Designe Construct Maintain*. Texas: Vol 35, N°2.
6. Asphalt Institute. (2021). *Jet Fuel Resistant Asphalt Binder in Taking Off*. 36(1).
7. Asphalt Institute MS - 22. (1992). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mazcla Asfáltica en Caliente*. Lexington, KY: Asphalt Institute Serie de Manuales No. 22.
8. Baena Paz, G. (2014). *Metodología de la investigación*. Distrito Federal, Mexico: GRUPO EDITORIAL PATRIA.
9. Baghaee Moghaddam, T. (2019). *Desarrollo de Tecnología de diseño en mezclas asfálticas de alto módulo para su uso en las carreteras de Ontario*. Waterloo: University of Waterloo.
10. Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson Educación.
11. Borshch, I., Grushko, I., Korolev, I., & Volkov, M. (1975). *Materiales de construcción de carreteras*. M.:Transport.

12. Camargo Pargo, J. G. (2016). *Análisis comparativo de una mezcla densa en caliente MGC-1 y una mezcla asfáltica densa tibia bajo técnica de espumado con adición de zeolita sintética*. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
13. Carrasco Díaz, S. (2006). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*. Lima: San Marcos.
14. Csanyi, L. H. (1962). Funciones de los rellenos en las mezclas bituminosas. *Highway Research Board Bulletin*, 329.
15. Edge, D. (1957). *Revisión y desarrollo de ecuaciones generales para mezclas de áridos densos*. Kansas: University of Kansas.
16. Gomez Bastar, S. (2012). *Metodología de la investigación*. Estado de México: Ma. Eugenia Buendía López.
17. Gonzáles Castellanos, R. (2003). *Metodología de la Investigación Científica para las ciencias Técnicas*. Cuba: Universidad de Mantanzas.
18. Hudson, S. B., & Vokac, R. (1962). El efecto de los rellenos en la estabilidad Marshall de las mezclas bituminosas. *Highway Research Board Bulletin*, 329.
19. Hveem, F. N. (1949). Gradación de los áridos minerales en las mezclas bituminosas densas. *The Crushed Stone*, 13.
20. Jimenez Paneque, R. (2002). *Metodología de la investigación*. Habana: Ciencia Médicas.
21. Kringos, N., Kasbergen, C., Scarpas, T., & Selvadurai, P. (2008). Modelización del daño físico-mecánico combinado inducido por la humedad en mezclas asfálticas, parte 1: Procesos gobernantes y formulaciones. *International Journal of Pavement Engineering*, 115-128.
22. Lemus Ballesteros, E. A., Mosquera Benavides, J. L., & Virviescas Barbosa, X. A. (2018). *Estudio de mezclas asfálticas densas con adición de materiales alternativos*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
23. Monje Álvarez, C. (2011). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA*. Colombia.

24. Paredes Matta, E. V. (2009). *Comportamiento mecánico de las mezclas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt)*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
25. Quiñones Paucar, K. (2017). *Diagnóstico y diseño vial del pavimento flexible: Avenida Alfonso Ugarte (tramo: Carretera Central - Avenida Ferrocarril), en el distrito de Hualhuas, provincia de Huancayo 2016*. Huancayo: Universidad Peruana Los Andes.
26. Ramadan Salim. (2019). *Parámetros del aglutinante asfáltico y su relación con las propiedades viscoelásticas lineales y de falla de las mezclas asfálticas*. Arizona: Arizona State University.
27. Ramírez Escobar, J. A. (2021). *Evaluación de la resistencia a la fatiga en mezclas asfálticas tibias mediante la viga de flexión a cuatro puntos*. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
28. Varveri, A., Zhu, J., & Kringos, N. (2015). Daños por humedad en mezclas asfálticas. *Advances in asphalt materials*, 303-344.
29. Wedding, P. A., & Gaynor, R. E. (1961). Efectos de la utilización de grava triturada como agregado grueso y fino en mezclas bituminosas densas. *Association of American Paving Technologists*, 30.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO**

## A. Ensayo de análisis granulométrico



*Anexo 1: Muestra de arena chancada proveniente de la cantera de Matahuasi para la elaboración de la mezcla asfáltica de granulometría alterada*



*Anexo 2: Se selecciona, por el método del cuarteo, una muestra representativa de arena chancada según lo indica la norma MTC E 204*



*Anexo 3: La norma MTC E 204 recomienda que se seleccione una muestra de 1500 gr de agregado fino para su caracterización*



*Anexo 4: Se verterá la muestra de arena chancada en el tamiz de mayor abertura para llevar a cabo el ensayo de granulometría*



*Anexo 5: Se realiza el proceso de tamizado de forma manual por un periodo de un minuto*



*Anexo 6: Tras el proceso de tamizado se procede a pesar el material retenido en cada tamiz*



*Anexo 7: Muestra de arena natural proveniente de la cantera de Matahuasi para la elaboración de la mezcla asfáltica de granulometría alterada*



*Anexo 8: Se selecciona, por el método del cuarteo, una muestra representativa de arena natural como lo especifica la norma MTC E 204*



*Anexo 9: La norma MTC E 204 recomienda que se seleccione una muestra de 1500 gr de agregado fino para su caracterización*



*Anexo 10: Se repite el proceso de análisis granulométrico para llevar a cabo el ensayo de granulometría de la arena natural*



*Anexo 11: Muestra de piedra de 1/2" proveniente de la cantera de Matahuasi para la elaboración de la mezcla asfáltica de granulometría alterada*



*Anexo 12: Se selecciona, por el método del cuarteo, una muestra representativa de piedra de 1/2" como lo especifica la norma MTC E 204*



*Anexo 13: La norma MTC E 204 recomienda que se seleccione una muestra de 3000 gr de agregado grueso para su caracterización*



*Anexo 14: Se repite el proceso de análisis granulométrico para llevar a cabo el ensayo de granulometría de la piedra de 1/2"*



*Anexo 15: Muestra de piedra de 3/4" proveniente de la cantera de Matahuasi para la elaboración de la mezcla asfáltica de granulometría alterada*



*Anexo 16: Se selecciona, por el método del cuarteo, una muestra representativa de piedra de 3/4" como lo especifica la norma MTC E 204*



*Anexo 17: La norma MTC E 204 recomienda que se seleccione una muestra de 3000 gr de agregado grueso para su caracterización*



*Anexo 18: Se repite el proceso de análisis granulométrico para llevar a cabo el ensayo de granulometría de la piedra de 3/4"*



*Anexo 19: Además de caracterizar los agregados, se caracterizará el filler a emplear en la mezcla, optando por cal hidratada para una mejor trabajabilidad en la mezcla.*

## **B. Elaboración de briquetas**



*Anexo 20: Para la elaboración del primer grupo de briquetas, se elabora la mezcla de agregados según los porcentajes de combinación de agregados por MAC 1 (para cada diferente porcentaje de supresión de agregados)*



*Anexo 21: Para la elaboración del segundo grupo de briquetas, se elabora la mezcla de agregados según los porcentajes de combinación de agregados por MAC 2 (para cada diferente porcentaje de supresión de agregados)*



*Anexo 22: Las mezclas de agregados obtenidas son colocadas en el horno para que alcancen la temperatura de mezclado*



*Anexo 23: Ligante asfáltico a emplear en la elaboración de la mezcla asfáltica de granulometría alterada*



*Anexo 24: El ligante asfáltico se colocará en el horno para mantenerlo a la temperatura de mezclado, antes de realizar la mezcla asfáltica en caliente*



*Anexo 25: Se procede a retirar el agregado y el ligante asfáltico del horno para proceder con la elaboración de la mezcla asfáltica*



*Anexo 26: Se procede a adicionar el ligante asfáltico en porcentajes de 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% respecto al peso de la mezcla con la gradación MAC 1 (para cada diferente porcentaje de supresión de agregados)*



*Anexo 27: Se procede a colocar la mezcla en una hornilla para mantener la temperatura de mezclado en 160°C, y así haya una correcta adherencia entre los materiales*



*Anexo 28: Se coloca el molde, collarín y base a emplear en la elaboración de las briquetas, y se coloca un papel filtro antes de colocar la mezcla*



*Anexo 29: Se procede a colocar la mezcla en el molde, con cuidado de no perder material en el proceso*



*Anexo 30: Se procede a chusear la muestra para eliminar la presencia de aire y uniformizar la mezcla, al final se coloca un papel filtro para la compactación*



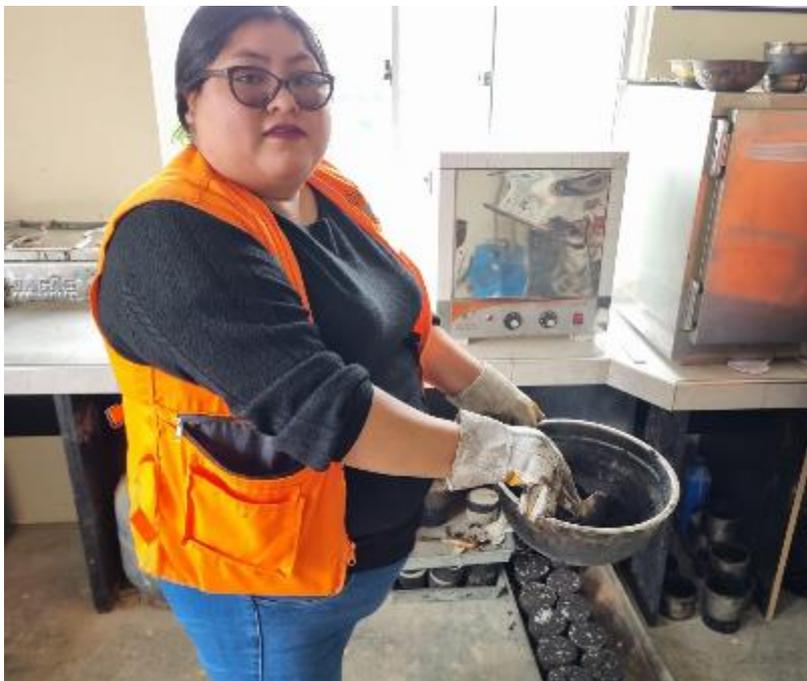
*Anexo 31: Se compacta la mezcla a 75 golpes por cara, la carga que se debe ejercer debe ser constante*



*Anexo 32: Briqueta obtenida del diseño por MAC 1*



*Anexo 33: Se procede a adicionar el ligante asfáltico en porcentajes de 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% respecto al peso de la mezcla con la gradación MAC 2 (para cada diferente porcentaje de supresión de agregados)*



*Anexo 34: Mezcla asfáltica obtenida a temperatura de mezclado de 160°C con la mezcla de agregados con la gradación MAC 2 (para cada diferente porcentaje de supresión de agregados)*



*Anexo 35: Se procede a colocar la mezcla en el molde, con cuidado de no perder material en el proceso*



*Anexo 36: Se procede a chusear la muestra para eliminar la presencia de aire y uniformizar la mezcla, al final se coloca un papel filtro para la compactación*



*Anexo 37: Se compacta la mezcla a 75 golpes por cara, la carga que se debe ejercer debe ser constante*



*Anexo 38: Briqueta obtenida del diseño por MAC 2*



*Anexo 39: Las briquetas obtenidas son colocadas en un espacio para enfriarlas a temperatura ambiente para luego proceder a desmoldarlas*

### **C. Ensayo de gravedad específica**



*Anexo 40: Peso seco de las briquetas diseñadas por Marshall*



*Anexo 41: Se colocan las briquetas en un depósito con agua para que entren en estado de inmersión*



*Anexo 42: Se coloca la briqueta en una canastilla dentro del depósito con agua y se toma el peso sumergido*



*Anexo 43: Tras haber sumergido las briquetas por 30 minutos, se procede a retirarlas y secarlas de manera superficial*



*Anexo 44: Se toma el peso superficialmente seco de la briqueta*

## D. Ensayo de Marshall



*Anexo 45: Grupo de briquetas resultantes del diseño MAC 1 (para cada diferente porcentaje de supresión de agregados) para el ensayo de Marshall*



*Anexo 46: Grupo de briquetas resultantes del diseño MAC 2 (para cada diferente porcentaje de supresión de agregados) para el ensayo de Marshall*



*Anexo 47: Las briquetas son acondicionadas para el ensayo de Marshall*



*Anexo 48: Tras retirar la briqueta del baño María, se elimina el exceso de agua y se procede a colocarla en la mordaza*



*Anexo 49: Se coloca la briqueta en la mordaza con cuidado de no dañar la briqueta*



*Anexo 50: Se coloca la mordaza en la prensa de Marshall y se realiza la lectura de los diales, este ensayo se lleva a cabo de la misma manera para las briquetas por MAC 1 y MAC 2*

## E. Ensayo de resistencia por inmersión-compresión



*Anexo 51: Grupo de briquetas elaboradas por el método Marshall para los diferentes porcentajes de supresión de tamaños y las gradaciones MAC 1 y MAC 2*



*Anexo 52: Se coloca un grupo de briquetas en acondicionamiento en agua a 25°C por 24 horas*



*Anexo 53: Se coloca un grupo de briquetas en acondicionamiento en agua a 60°C por 24 horas*



*Anexo 54: Se toman las medidas de los diámetros de cada briqueta*



*Anexo 55: Se toman las medidas de las alturas de cada briqueta*



*Anexo 56: Peso seco de las briquetas diseñadas para ensayo de inmersión-compresión*



*Anexo 57: Se colocan las briquetas en un depósito con agua para saturarlas*



*Anexo 58: Se coloca la briqueta en una canastilla dentro del depósito con agua y se toma el peso sumergido*



*Anexo 59: Tras haber sumergido las briquetas por 30 minutos, se procede a retirarlas y secarlas de manera superficial*



*Anexo 60: Se toma el peso superficialmente seco de la briqueta*



*Anexo 61: Se rotura cada briqueta del ensayo inmersión-compresión*

## **ANEXO 2. CERTIFICADOS**

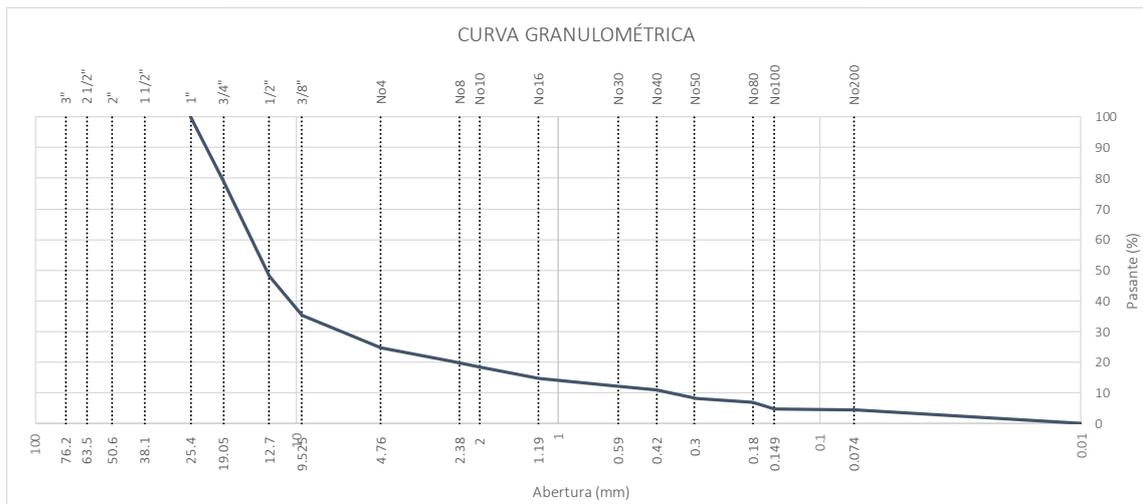


## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

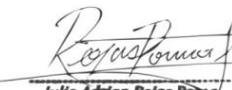
<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	M1
<b>FECHA:</b>	5/12/2022

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

PIEDRA CHANCADA 3/4"					
Tamiz	Malla	Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
	mm				
3"	76.200				
2 1/2"	63.550				
2"	50.800				
1 1/2"	38.110				
1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.055	624.00	20.80	20.80	79.20
1/2"	12.700	931.80	31.06	51.86	48.14
3/8"	9.525	384.60	12.82	64.68	35.32
4	4.750	321.30	10.71	75.39	24.61
8	2.550	127.20	4.24	79.63	20.37
10	2.000	62.70	2.09	81.72	18.28
16	1.185	106.50	3.55	85.27	14.73
30	0.600	77.70	2.59	87.86	12.14
40	0.420	34.50	1.15	89.01	10.99
50	0.295	85.80	2.86	91.87	8.13
80	0.180	42.00	1.40	93.27	6.73
100	0.148	57.60	1.92	95.19	4.81
200	0.072	14.10	0.47	95.66	4.34
< 200	0.010	130.20	4.34	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		3000.00	gr		



  
**Juan Ernesto Tejeda Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

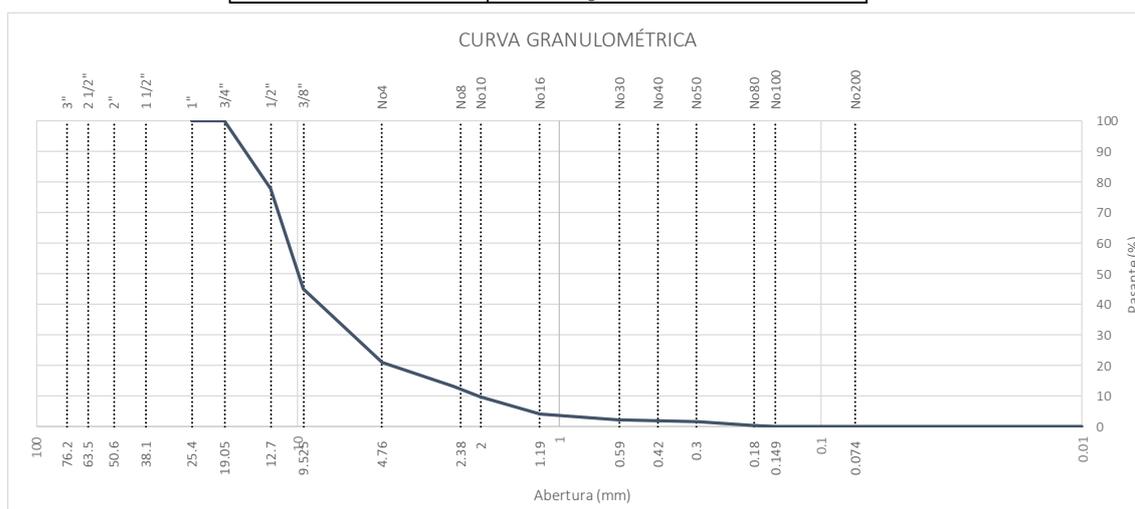
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	M2
<b>FECHA:</b>	5/12/2022

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

PIEDRA CHANCADA 1/2"					
Tamiz	Malla	Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
	mm				
3"	76.200				
2 1/2"	63.550				
2"	50.800				
1 1/2"	38.110				
1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	658.20	21.94	21.94	78.06
3/8"	9.525	987.00	32.90	54.84	45.16
4	4.750	722.70	24.09	78.93	21.07
8	2.550	235.80	7.86	86.79	13.21
10	2.000	107.40	3.58	90.37	9.63
16	1.185	169.50	5.65	96.02	3.98
30	0.600	49.80	1.66	97.68	2.32
40	0.420	12.30	0.41	98.09	1.91
50	0.295	11.40	0.38	98.47	1.53
80	0.180	39.30	1.31	99.78	0.22
100	0.148	1.20	0.04	99.82	0.18
200	0.072	2.10	0.07	99.89	0.11
< 200	0.010	3.30	0.11	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		3000.00 gr			



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

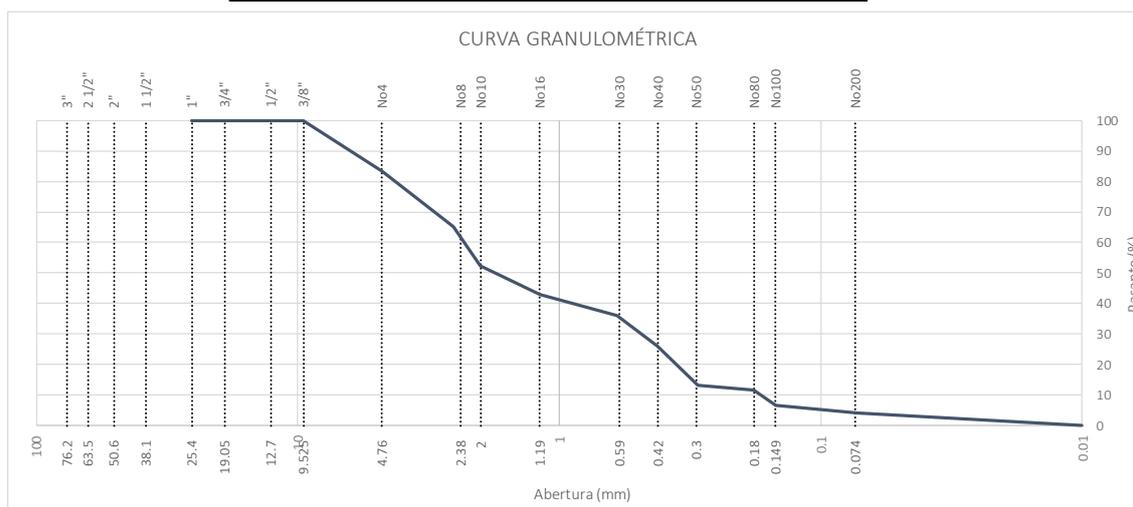
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	M3
<b>FECHA:</b>	5/12/2022

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA NATURAL					
Tamiz	Malla	Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
	mm				
3"	76.200				
2 1/2"	63.550				
2"	50.800				
1 1/2"	38.110				
1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.750	250.20	16.68	16.68	83.32
8	2.550	273.45	18.23	34.91	65.09
10	2.000	190.20	12.68	47.59	52.41
16	1.185	143.70	9.58	57.17	42.83
30	0.600	100.80	6.72	63.89	36.11
40	0.420	152.10	10.14	74.03	25.97
50	0.295	191.40	12.76	86.79	13.21
80	0.180	22.65	1.51	88.30	11.70
100	0.148	75.90	5.06	93.36	6.64
200	0.072	38.55	2.57	95.93	4.07
< 200	0.010	61.05	4.07	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		1500.00 gr			



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

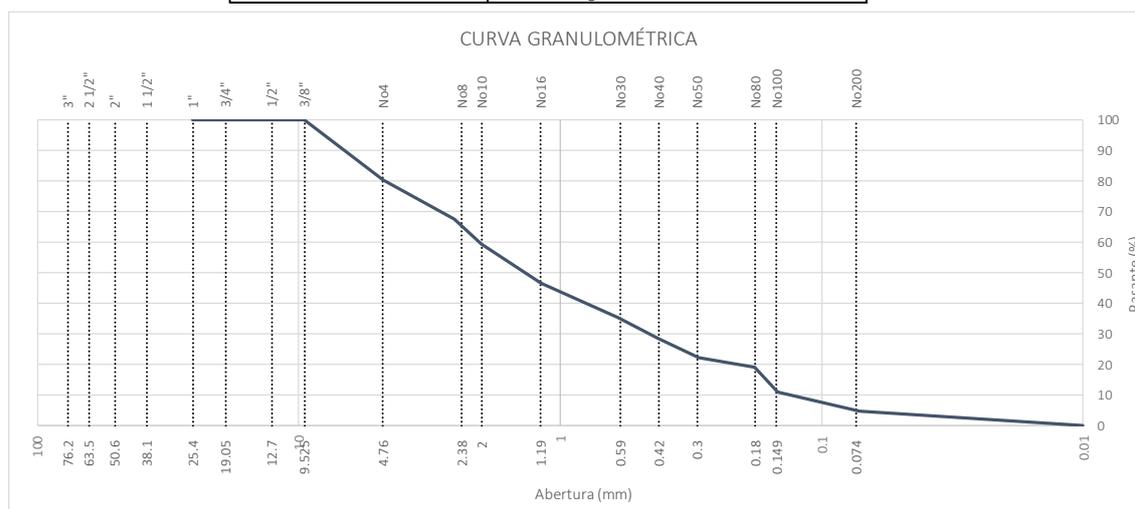
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



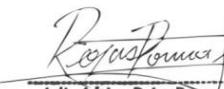
<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	M4
<b>FECHA:</b>	5/12/2022

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA PROCESADA					
Tamiz	Malla	Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
	mm				
3"	76.200				
2 1/2"	63.550				
2"	50.800				
1 1/2"	38.110				
1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.750	294.30	19.62	19.62	80.38
8	2.550	191.65	12.78	32.40	67.60
10	2.000	120.50	8.03	40.43	59.57
16	1.185	191.90	12.79	53.22	46.78
30	0.600	169.35	11.29	64.51	35.49
40	0.420	106.75	7.12	71.63	28.37
50	0.295	92.55	6.17	77.80	22.20
80	0.180	44.55	2.97	80.77	19.23
100	0.148	123.90	8.26	89.03	10.97
200	0.072	95.25	6.35	95.38	4.62
< 200	0.010	69.30	4.62	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		1500.00 gr			



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

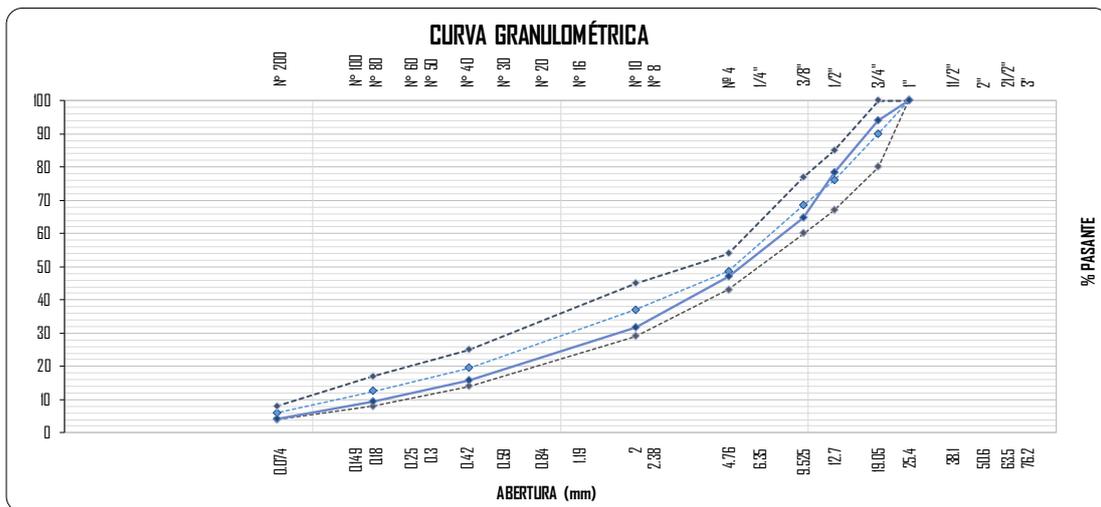
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	MAC1
<b>FECHA:</b>	5/12/2022

### COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA ASFALTO - MAC 01

Malla		Porcentaje pasantes (%)					Especificaciones		
Tamiz	mm	PIEDRAS		ARENAS			MEZCLA	MAC-1	Tamaño máximo 1/2"
Agregados		Piedra 3/4"	Piedra 1/2"	Arena Natural	Arena Procesada	Cal			
Proporciones		3/4"	1/2"	NATURAL	PROCESADA	CAL	100%		Curva Ideal
1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	<b>100.0</b>	100 - 100	100
3/4"	19.055	79.20	100.00	100.00	100.00	100.00	<b>94.0</b>	80 - 100	100
1/2"	12.700	48.14	78.06	100.00	100.00	100.00	<b>78.4</b>	67-85	90
3/8"	9.525	35.32	45.16	100.00	100.00	100.00	<b>64.8</b>	60-77	79
No4	4.750	24.61	21.07	83.32	80.38	100.00	<b>47.2</b>	43-54	60
No8	2.550	20.37	13.21	65.09	67.60	100.00	<b>37.4</b>		
No10	2.000	18.28	9.63	52.41	59.57	100.00	<b>31.7</b>	29-45	45
No16	1.185	14.73	3.98	42.83	46.78	100.00	<b>24.4</b>		
No30	0.600	12.14	2.32	36.11	35.49	100.00	<b>19.5</b>		
No40	0.425	10.99	1.91	25.97	28.37	100.00	<b>15.7</b>	14-25	23
No50	0.295	8.13	1.53	13.21	22.20	100.00	<b>11.0</b>		
No80	0.175	6.73	0.22	11.70	19.23	100.00	<b>9.3</b>	8 - 17	13
No100	0.148	4.81	0.18	6.64	10.97	100.00	<b>6.0</b>		
No200	0.072	4.34	0.11	4.07	4.62	100.00	<b>4.0</b>	4 - 8	6
< N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.0</b>		



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

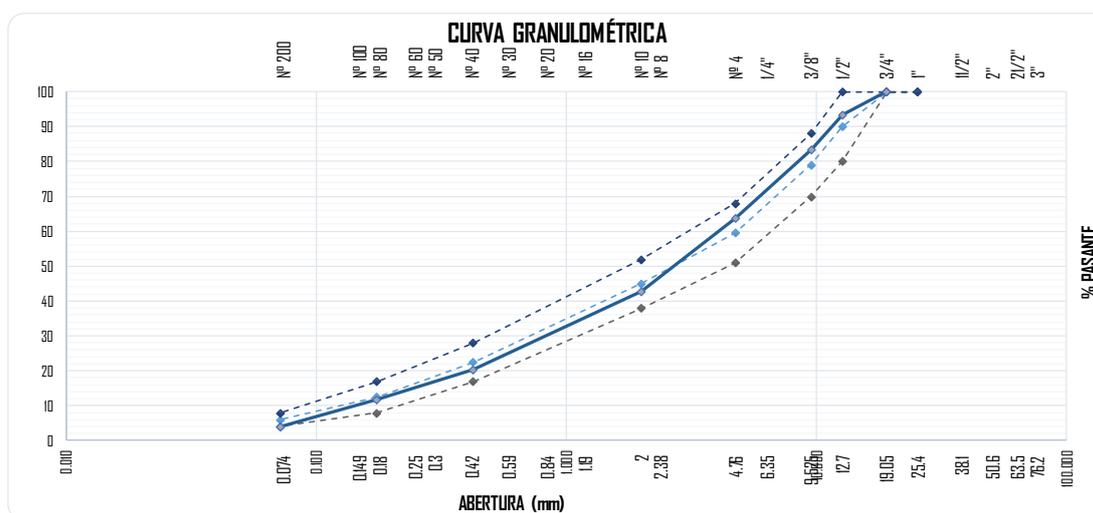
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



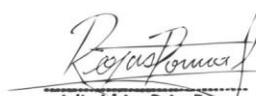
<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	MAC2
<b>FECHA:</b>	5/12/2022

### COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA ASFALTO - MAC 02

Malla		Porcentaje pasantes (%)					Especificaciones		
Tamiz	mm	PIEDRAS		ARENAS			MEZCLA	MAC-2	Tamaño máximo 1/2"
Agregados		Piedra 1/2"	Arena Natural	Arena Procesada	Cal	100%			
Proporciones		1/2"	NATURAL	PROCESADA	CAL		100%	Curva Ideal	
1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	<b>100.0</b>			100 - 100
3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	<b>100.0</b>	100 - 100	100	
1/2"	12.700	78.06	100.00	100.00	100.00	<b>93.4</b>	80 - 100	90	
3/8"	9.525	45.16	100.00	100.00	100.00	<b>83.5</b>	70 - 88	79	
No4	4.750	21.07	83.32	80.38	100.00	<b>63.8</b>	51 - 68	60	
No8	2.550	13.21	65.09	67.60	100.00	<b>50.8</b>			
No10	2.000	9.63	52.41	59.57	100.00	<b>42.6</b>	38 - 52	45	
No16	1.185	3.98	42.83	46.78	100.00	<b>33.2</b>			
No30	0.600	2.32	36.11	35.49	100.00	<b>26.4</b>			
No40	0.425	1.91	25.97	28.37	100.00	<b>20.4</b>	17 - 28	23	
No50	0.295	1.53	13.21	22.20	100.00	<b>13.8</b>			
No80	0.175	0.22	11.70	19.23	100.00	<b>11.8</b>	8 - 17	13	
No100	0.148	0.18	6.64	10.97	100.00	<b>7.2</b>			
No200	0.072	0.11	4.07	4.62	100.00	<b>4.0</b>	4 - 8	6	
< N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.0</b>			



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



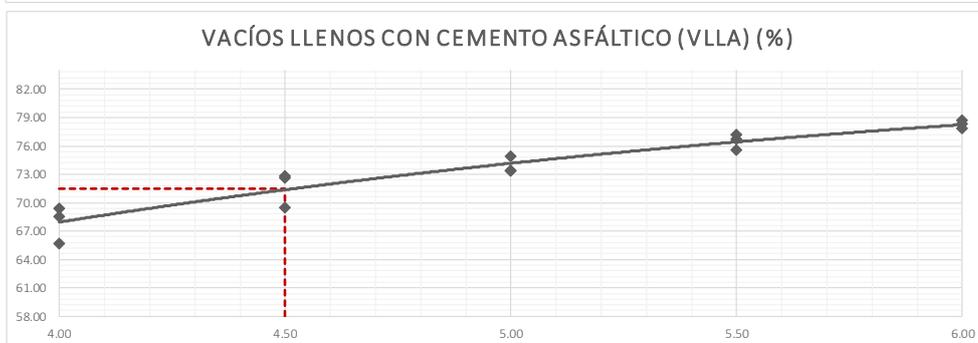
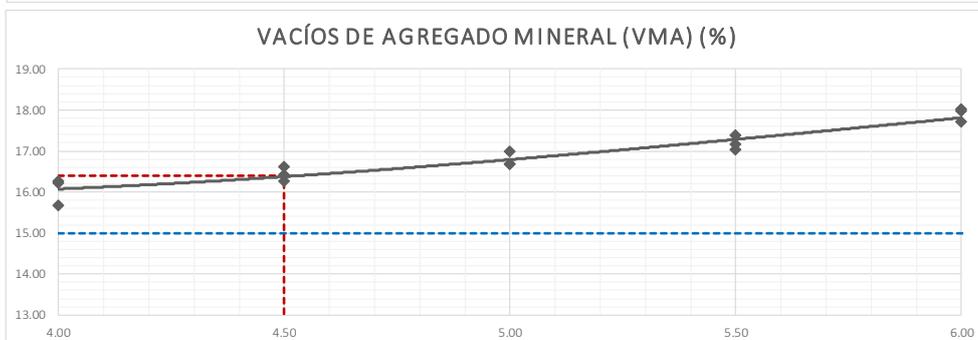
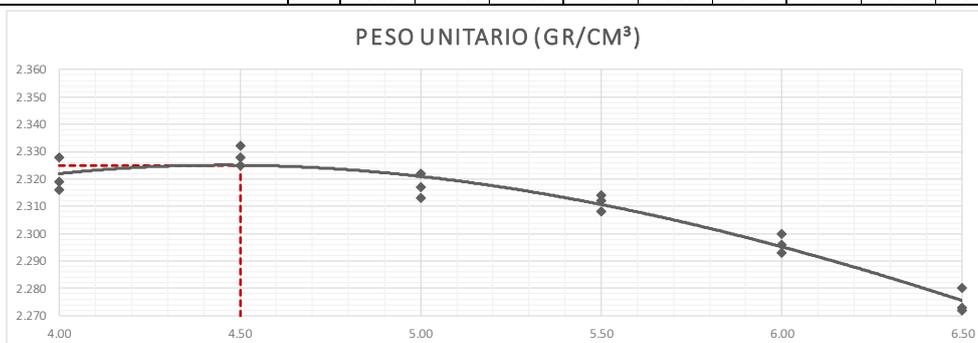
<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - Muestra control MAC 1 (1/2)
<b>FECHA:</b>	8/12/2022

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (1/2) - Diseño MAC 1 (MTC E 504)

<b>Cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
<b>Peso unitario</b>	<b>gr/cm³</b>	2.316	2.319	2.328	2.328	2.325	2.332	2.313	2.317	2.322
<b>Vacíos de agregado mineral</b>	<b>%</b>	15.67	16.22	16.27	16.27	16.41	16.61	16.68	16.68	16.98
<b>Vacíos llenos con cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	65.73	68.53	69.41	69.44	72.58	72.81	73.42	73.43	74.87

<b>Cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
<b>Peso unitario</b>	<b>gr/cm³</b>	2.314	2.312	2.308	2.296	2.300	2.293	2.272	2.280	2.273
<b>Vacíos de agregado mineral</b>	<b>%</b>	17.04	17.16	17.39	17.72	17.97	18.02	18.19	18.26	18.46
<b>Vacíos llenos con cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	75.55	76.76	77.16	77.90	78.35	78.73	79.05	79.12	80.92



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



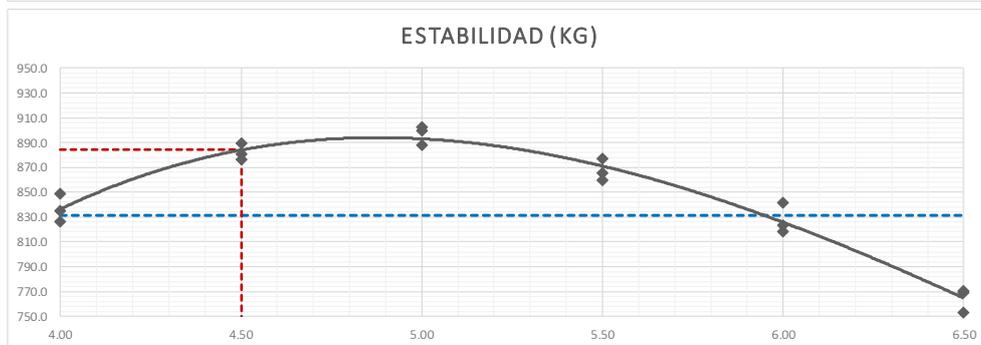
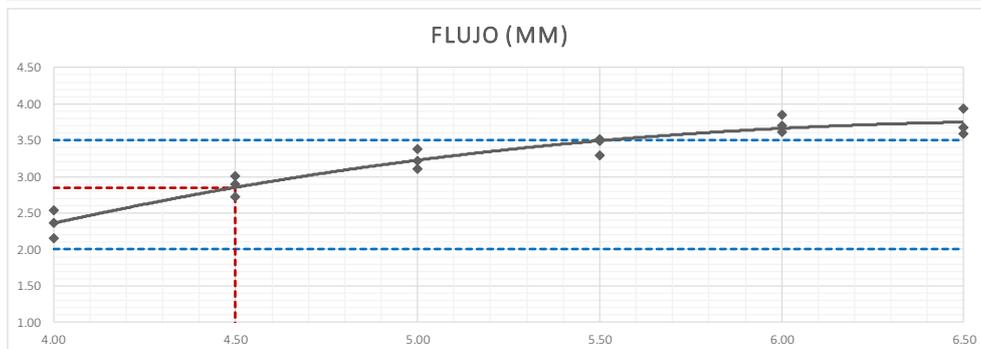
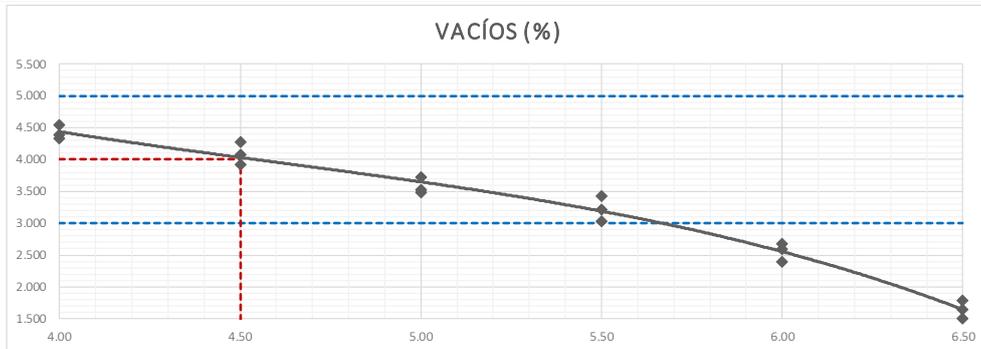
<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - Muestra control MAC 1 (2/2)
<b>FECHA:</b>	8/12/2022

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (2/2) - Diseño MAC 1 (MTC E 504)

<b>Cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
<b>Vacíos</b>	<b>%</b>	4.55	4.39	4.33	4.08	4.27	3.92	3.72	3.52	3.49
<b>Flujo</b>	<b>mm</b>	2.15	2.36	2.54	2.72	2.89	3.01	3.11	3.22	3.38
<b>Estabilidad</b>	<b>kg</b>	826.6	848.9	834.8	876.5	880.8	889.5	899.6	902.7	887.7

<b>Cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
<b>Vacíos</b>	<b>%</b>	3.42	3.22	3.03	2.40	2.59	2.68	1.64	1.78	1.50
<b>Flujo</b>	<b>mm</b>	3.29	3.52	3.49	3.61	3.70	3.85	3.68	3.59	3.93
<b>Estabilidad</b>	<b>kg</b>	865.2	859.5	877.2	841.3	823.4	818.6	753.3	769.2	770.5



  
**Juan Ernesto Tejada Díaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

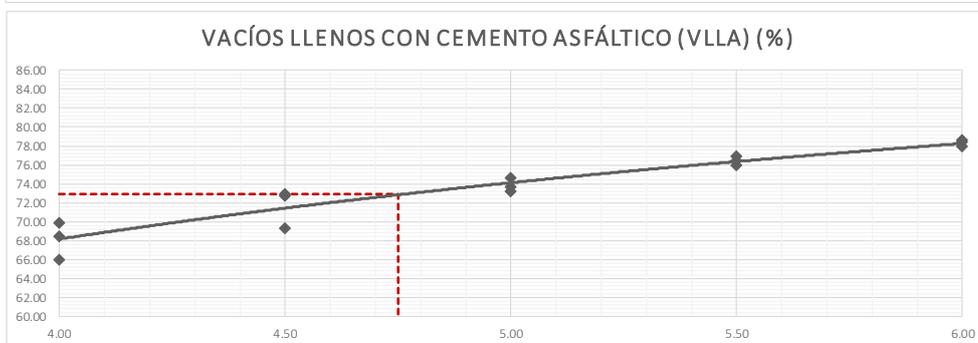
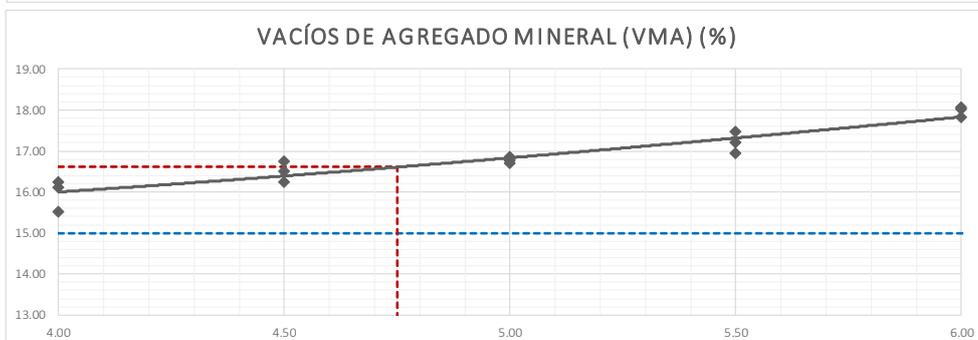
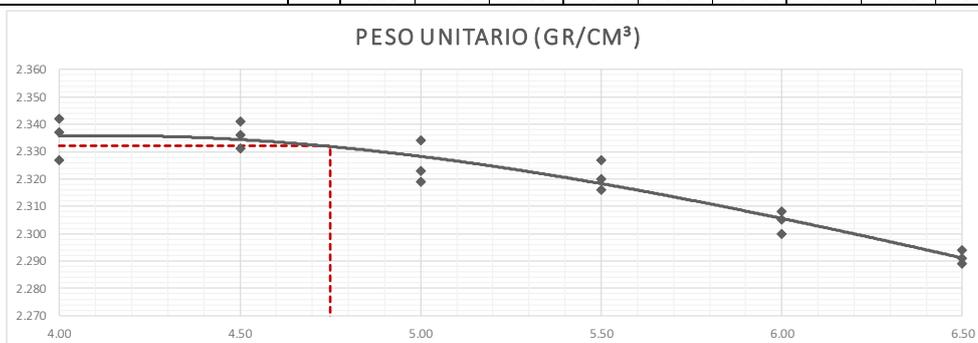
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - Muestra control MAC 2 (1/2)
<b>FECHA:</b>	11/12/2022

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (1/2) - Diseño MAC 2 (MTC E 504)

Cemento asfáltico	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
Peso unitario	gr/cm <sup>3</sup>	2.327	2.337	2.342	2.341	2.331	2.336	2.319	2.334	2.323
Vacíos de agregado mineral	%	15.53	16.12	16.24	16.24	16.51	16.75	16.71	16.78	16.86
Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	65.97	68.49	69.83	69.30	72.76	72.96	73.19	73.72	74.64
Cemento asfáltico	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
Peso unitario	gr/cm <sup>3</sup>	2.320	2.316	2.327	2.305	2.308	2.300	2.291	2.294	2.289
Vacíos de agregado mineral	%	16.94	17.20	17.47	17.83	18.06	18.02	18.09	18.40	18.46
Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	75.91	76.41	76.91	78.00	78.45	78.58	79.23	79.38	81.19



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



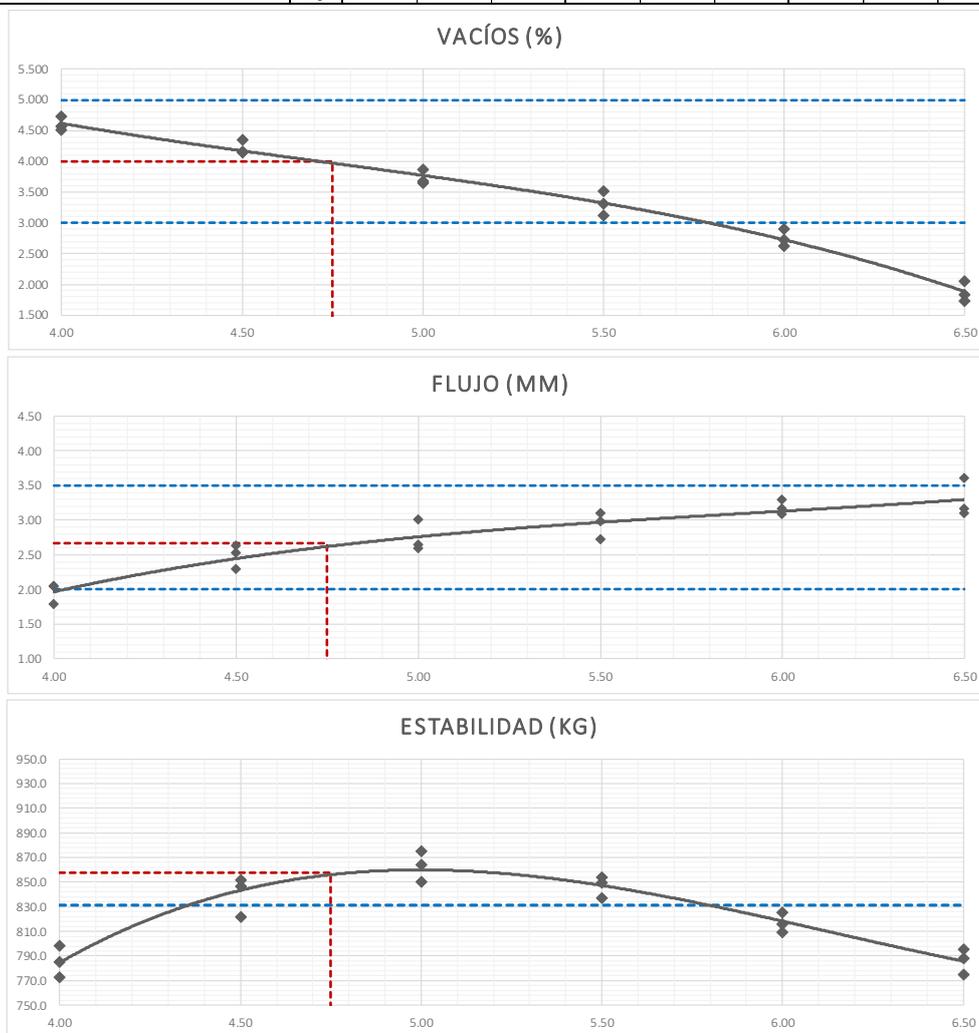
<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - Muestra control MAC 2 (2/2)
<b>FECHA:</b>	11/12/2022

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (2/2) - Diseño MAC 2 (MTC E 504)

<b>Cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
<b>Vacíos</b>	<b>%</b>	4.73	4.51	4.57	4.14	4.35	4.16	3.86	3.65	3.68
<b>Flujo</b>	<b>mm</b>	1.78	2.05	2.04	2.29	2.52	2.63	2.59	2.64	3.01
<b>Estabilidad</b>	<b>kg</b>	785.6	772.7	798.4	852.0	846.4	822.1	875.3	850.2	863.9

<b>Cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
<b>Vacíos</b>	<b>%</b>	3.52	3.31	3.12	2.63	2.73	2.90	1.73	1.83	2.06
<b>Flujo</b>	<b>mm</b>	2.72	3.09	2.98	3.29	3.16	3.08	3.09	3.16	3.60
<b>Estabilidad</b>	<b>kg</b>	849.9	853.7	837.4	825.6	815.9	809.1	788.3	775.3	795.7



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	(M.5-M.29)
<b>FECHA:</b>	26/12/2022

### ENSAYO DE MARSHALL DE MEZCLA ASFÁLTICA DISEÑADA POR MAC 1 / MAC 2

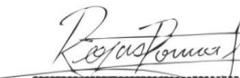
DISEÑO POR MAC 01		
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Estabilidad
%	%	kg
4.5	0	890.7
	0	884.4
	0	877.2
4.95	20	844.8
	20	835.0
	20	839.0
5.1	40	919.1
	40	904.7
	40	911.4
5.2	60	937.8
	60	934.2
	60	944.53

DISEÑO POR MAC 01		
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Flujo
%	%	mm
4.5	0	2.93
	0	2.85
	0	2.77
4.95	20	2.84
	20	2.67
	20	2.77
5.1	40	2.34
	40	2.23
	40	2.46
5.2	60	2.17
	60	2.32
	60	2.36

DISEÑO POR MAC 02		
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Estabilidad
%	%	kg
4.75	0	850.6
	0	863.6
	0	858.7
5.15	20	829.5
	20	839.2
	20	844.5
5.25	40	855.2
	40	865.5
	40	842.0
5.32	60	906.0
	60	890.2
	60	899.82

DISEÑO POR MAC 02		
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Flujo
%	%	mm
4.75	0	2.65
	0	2.60
	0	2.75
5.15	20	2.51
	20	2.60
	20	2.46
5.25	40	2.33
	40	2.37
	40	2.50
5.32	60	2.18
	60	2.06
	60	2.13

  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	(M.30-M.53)
<b>FECHA:</b>	2/01/2023

### EFECTO DEL AGUA SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (INMERSIÓN COMPRESIÓN) - MEZCLA ASFÁLTICA DISEÑADA POR MAC 1

Grupo	Probeta N°.	Altura	Diámetro	Peso de la briqueta en el aire	Peso de la briqueta en agua	Volumen de la briqueta	Gravedad específica Buk a 25°C	Vacíos	Carga máxima	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión
		(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(cm³)	(gr/cm³)	(%)	(kg)	(kg/cm²)	(Mpa)
1	M1	10.8	10.6	1957.8	1125.0	832.8	2.351	5.110	1281.98	21.50	2.150
	M2	10.6	10.6	1925.8	1102.8	823.0	2.340	5.120	1290.92	21.65	2.165
	M3	10.4	10.6	1928.5	1105.1	823.4	2.342	5.190	1311.20	21.99	2.199
<b>Promedio grupo 1 (Inmersión en baño María a 25°C por 24h)</b>							<b>2.344</b>	<b>5.140</b>	<b>1294.70</b>	<b>21.71</b>	<b>2.171</b>
2	M4	10.6	10.6	1931.1	1108.3	822.8	2.347	5.230	850.14	14.25	1.425
	M5	10.7	10.6	1911.2	1095.8	815.4	2.344	5.180	841.79	14.11	1.411
	M6	10.5	10.6	1941.9	1119.1	822.8	2.360	5.140	866.25	14.52	1.452
<b>Promedio grupo 2 (Inmersión en baño María a 60°C por 24h)</b>							<b>2.350</b>	<b>5.183</b>	<b>852.73</b>	<b>14.29</b>	<b>1.429</b>
<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA (%) =</b>										<b>0.658</b>	

Grupo	Probeta N°.	Altura	Diámetro	Peso de la briqueta en el aire	Peso de la briqueta en agua	Volumen de la briqueta	Gravedad específica Buk a 25°C	Vacíos	Carga máxima	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión
		(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(cm³)	(gr/cm³)	(%)	(kg)	(kg/cm²)	(Mpa)
1	M7	10.7	10.6	1956.3	1122.4	833.9	2.346	4.490	1332.07	22.34	2.234
	M8	10.5	10.6	1931.5	1112.0	819.5	2.357	4.480	1296.89	21.75	2.175
	M9	10.8	10.6	1937.5	1116.5	821.0	2.360	4.450	1317.76	22.10	2.210
<b>Promedio grupo 1 (Inmersión en baño María a 25°C por 24h)</b>							<b>2.354</b>	<b>4.473</b>	<b>1315.57</b>	<b>22.06</b>	<b>2.206</b>
2	M10	10.6	10.6	1928.4	1109.9	818.5	2.356	4.550	857.90	14.38	1.438
	M11	10.6	10.6	1939.7	1117.8	821.9	2.360	4.540	874.60	14.66	1.466
	M12	10.4	10.6	1908.8	1100.3	808.5	2.361	4.490	885.94	14.85	1.485
<b>Promedio grupo 2 (Inmersión en baño María a 60°C por 24h)</b>							<b>2.359</b>	<b>4.527</b>	<b>872.81</b>	<b>14.63</b>	<b>1.463</b>
<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA (%) =</b>										<b>0.663</b>	

Grupo	Probeta N°.	Altura	Diámetro	Peso de la briqueta en el aire	Peso de la briqueta en agua	Volumen de la briqueta	Gravedad específica Buk a 25°C	Vacíos	Carga máxima	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión
		(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(cm³)	(gr/cm³)	(%)	(kg)	(kg/cm²)	(Mpa)
1	M13	10.4	10.6	1949.4	1120.6	828.8	2.352	4.430	1361.28	22.83	2.283
	M14	10.7	10.6	1951.7	1128.2	823.5	2.370	4.460	1423.30	23.87	2.387
	M15	10.8	10.6	1956.1	1129.0	827.1	2.365	4.480	1382.75	23.19	2.319
<b>Promedio grupo 1 (Inmersión en baño María a 25°C por 24h)</b>							<b>2.362</b>	<b>4.457</b>	<b>1389.11</b>	<b>23.30</b>	<b>2.330</b>
2	M16	10.8	10.6	1934.2	1116.0	818.2	2.364	4.530	995.11	16.68	1.668
	M17	10.8	10.6	1940.7	1119.4	821.3	2.363	4.480	980.79	16.44	1.644
	M18	10.5	10.6	1926.9	1116.6	810.3	2.378	4.500	1011.22	16.95	1.695
<b>Promedio grupo 2 (Inmersión en baño María a 60°C por 24h)</b>							<b>2.368</b>	<b>4.503</b>	<b>995.71</b>	<b>16.69</b>	<b>1.669</b>
<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA (%) =</b>										<b>0.716</b>	

Grupo	Probeta N°.	Altura	Diámetro	Peso de la briqueta en el aire	Peso de la briqueta en agua	Volumen de la briqueta	Gravedad específica Buk a 25°C	Vacíos	Carga máxima	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión
		(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(cm³)	(gr/cm³)	(%)	(kg)	(kg/cm²)	(Mpa)
1	M19	10.6	10.6	1948.7	1126.1	822.6	2.369	4.070	1509.76	25.32	2.532
	M20	10.8	10.6	1926.1	1113.1	813.0	2.369	4.100	1527.05	25.61	2.561
	M21	10.5	10.6	1942.5	1124.9	817.6	2.376	4.020	1476.36	24.76	2.476
<b>Promedio grupo 1 (Inmersión en baño María a 25°C por 24h)</b>							<b>2.371</b>	<b>4.063</b>	<b>1504.39</b>	<b>25.23</b>	<b>2.523</b>
2	M22	10.5	10.6	1914.5	1111.1	803.4	2.383	4.070	1005.25	16.85	1.685
	M23	10.8	10.6	1923.9	1109.0	814.9	2.361	4.200	974.83	16.34	1.634
	M24	10.4	10.6	1918.2	1114.6	803.6	2.387	4.170	989.15	16.58	1.658
<b>Promedio grupo 2 (Inmersión en baño María a 60°C por 24h)</b>							<b>2.377</b>	<b>4.147</b>	<b>989.74</b>	<b>16.59</b>	<b>1.659</b>
<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA (%) =</b>										<b>0.658</b>	

  
**Juan Ernesto Tejeda Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	(M.54-M.77)
<b>FECHA:</b>	9/01/2023

### EFECTO DEL AGUA SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (INMERSIÓN COMPRESIÓN) - MEZCLA ASFÁLTICA DISEÑADA POR MAC 2

Grupo	Probeta N°.	Altura	Diámetro	Peso de la briqueta en el aire	Peso de la briqueta en agua	Volumen de la briqueta	Gravedad específica Buk a 25°C	Vacíos	Carga máxima	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión
		(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(cm³)	(gr/cm³)	(%)	(kg)	(kg/cm²)	(Mpa)
1	M1	10.5	10.6	1956.6	1125.1	831.5	2.353	4.830	1172.27	19.66	1.966
	M2	10.4	10.6	1938.8	1112.7	826.1	2.347	4.860	1195.52	20.05	2.005
	M3	10.6	10.6	1935.9	1110.0	825.9	2.344	4.860	1214.60	20.37	2.037
<b>Promedio grupo 1 (Inmersión en baño María a 25°C por 24h)</b>							<b>2.348</b>	<b>4.850</b>	<b>1194.13</b>	<b>20.03</b>	<b>2.003</b>
2	M1	10.8	10.6	1933.1	1107.3	825.8	2.341	4.830	793.46	13.30	1.330
	M2	10.7	10.6	1941.2	1117.3	823.9	2.356	4.950	802.41	13.45	1.345
	M3	10.8	10.6	1913.5	1103.0	810.5	2.361	4.860	829.86	13.91	1.391
<b>Promedio grupo 2 (Inmersión en baño María a 60°C por 24h)</b>							<b>2.353</b>	<b>4.880</b>	<b>808.58</b>	<b>13.55</b>	<b>1.355</b>
<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA (%) =</b>										<b>0.677</b>	

Grupo	Probeta N°.	Altura	Diámetro	Peso de la briqueta en el aire	Peso de la briqueta en agua	Volumen de la briqueta	Gravedad específica Buk a 25°C	Vacíos	Carga máxima	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión
		(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(cm³)	(gr/cm³)	(%)	(kg)	(kg/cm²)	(Mpa)
1	M4	10.7	10.6	1958.1	1128.4	829.7	2.360	4.420	1220.56	20.47	2.047
	M5	10.7	10.6	1953.4	1119.7	833.7	2.343	4.510	1243.22	20.85	2.085
	M6	10.6	10.6	1932.9	1114.2	818.7	2.361	4.450	1197.91	20.09	2.009
<b>Promedio grupo 1 (Inmersión en baño María a 25°C por 24h)</b>							<b>2.355</b>	<b>4.460</b>	<b>1220.56</b>	<b>20.47</b>	<b>2.047</b>
2	M4	10.6	10.6	1913.2	1101.1	812.1	2.356	4.530	862.67	14.46	1.446
	M5	10.5	10.6	1918.2	1106.4	811.8	2.363	4.480	906.82	15.20	1.520
	M6	10.4	10.6	1938.4	1116.3	822.1	2.358	4.530	891.31	14.94	1.494
<b>Promedio grupo 2 (Inmersión en baño María a 60°C por 24h)</b>							<b>2.359</b>	<b>4.513</b>	<b>886.93</b>	<b>14.87</b>	<b>1.487</b>
<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA (%) =</b>										<b>0.726</b>	

Grupo	Probeta N°.	Altura	Diámetro	Peso de la briqueta en el aire	Peso de la briqueta en agua	Volumen de la briqueta	Gravedad específica Buk a 25°C	Vacíos	Carga máxima	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión
		(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(cm³)	(gr/cm³)	(%)	(kg)	(kg/cm²)	(Mpa)
1	M7	10.6	10.6	1954.9	1126.2	828.7	2.359	4.030	1317.16	22.09	2.209
	M8	10.4	10.6	1942.4	1126.6	815.8	2.381	4.010	1355.32	22.73	2.273
	M9	10.4	10.6	1947.8	1124.6	823.2	2.366	4.040	1342.80	22.52	2.252
<b>Promedio grupo 1 (Inmersión en baño María a 25°C por 24h)</b>							<b>2.369</b>	<b>4.027</b>	<b>1338.43</b>	<b>22.45</b>	<b>2.245</b>
2	M7	10.4	10.6	1934.0	1115.9	818.1	2.364	4.150	986.76	16.54	1.654
	M8	10.5	10.6	1936.3	1119.3	817.0	2.370	4.030	958.12	16.06	1.606
	M9	10.4	10.6	1927.1	1120.1	807.0	2.388	4.060	970.06	16.26	1.626
<b>Promedio grupo 2 (Inmersión en baño María a 60°C por 24h)</b>							<b>2.374</b>	<b>4.080</b>	<b>971.65</b>	<b>16.29</b>	<b>1.629</b>
<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA (%) =</b>										<b>0.726</b>	

Grupo	Probeta N°.	Altura	Diámetro	Peso de la briqueta en el aire	Peso de la briqueta en agua	Volumen de la briqueta	Gravedad específica Buk a 25°C	Vacíos	Carga máxima	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión
		(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(cm³)	(gr/cm³)	(%)	(kg)	(kg/cm²)	(Mpa)
1	M10	10.8	10.6	1944.5	1127.1	817.4	2.379	3.900	1328.49	22.28	2.228
	M11	10.8	10.6	1956.4	1132.7	823.7	2.375	3.930	1361.88	22.84	2.284
	M12	10.5	10.6	1946.6	1128.0	818.6	2.378	3.950	1382.75	23.19	2.319
<b>Promedio grupo 1 (Inmersión en baño María a 25°C por 24h)</b>							<b>2.377</b>	<b>3.927</b>	<b>1357.71</b>	<b>22.77</b>	<b>2.277</b>
2	M13	10.7	10.6	1929.8	1117.3	812.5	2.375	3.970	1013.61	16.99	1.699
	M14	10.6	10.6	1925.2	1116.6	808.6	2.381	3.960	1041.05	17.45	1.745
	M15	10.5	10.6	1932.1	1124.7	807.4	2.393	3.960	995.71	16.69	1.669
<b>Promedio grupo 2 (Inmersión en baño María a 60°C por 24h)</b>							<b>2.383</b>	<b>3.963</b>	<b>1016.79</b>	<b>17.04</b>	<b>1.704</b>
<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA (%) =</b>										<b>0.749</b>	

  
**Juan Ernesto Tejeda Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. SAENZ JARA, JHAIR JEYSON BACH. CALDERON LEANDRO, KIARA SHERLY
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	(M.78-M.101)
<b>FECHA:</b>	16/01/2023

### ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO DE MEZCLA ASFÁLTICA DISEÑADA POR MAC 1 / MAC 2

DISEÑO POR MAC 01				
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Supresión de tamaños intermedios	Ahuellamiento	Ahuellamiento
%	%	%	mm	mm
4.50	0	0.00	11.9	11.70
	0		12.0	
	0		11.2	
4.95	20	20.00	10.8	10.90
	20		10.5	
	20		11.4	
5.10	40	40.00	6.1	6.10
	40		6.5	
	40		5.7	
5.20	60	60.00	4.6	4.50
	60		5.0	
	60		3.9	

DISEÑO POR MAC 02				
OCA	Supresión de tamaños intermedios	Supresión de tamaños intermedios	Ahuellamiento	Ahuellamiento
%	%	%	mm	mm
4.50	0	0.00	13.0	12.60
	0		12.2	
	0		12.6	
4.95	20	20.00	12.8	12.30
	20		12.4	
	20		11.7	
5.10	40	40.00	8.4	7.80
	40		7.8	
	40		7.2	
5.20	60	60.00	5.8	5.40
	60		5.4	
	60		5.0	

  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

### ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ALTERADA, POR LA SUPRESIÓN DE LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS DEL ÁRIDO GRUESO, HUANCAYO 2022”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	MÉTODO
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cómo afecta la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso a la variación de las propiedades mecánicas y el desempeño de las mezclas asfálticas de granulometría alterada en Huancayo en 2022?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar el efecto en las propiedades mecánicas y desempeño de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>Las propiedades mecánicas y desempeño de mezclas asfálticas de granulometría alterada mejoran por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.</p>	<p>VI: SUPRESIÓN DE TAMAÑOS INTERMEDIOS</p>	<p>D1: HUSOS GRANULOMÉTRICO</p>	<p>I1: MAC 01 I2: MAC 02 I3: MAC 03</p>	<p>Método: Metodología científica</p> <p>Nivel: Nivel correlacional</p>
<p><b>PROBLEMA ESPECÍFICO</b></p> <p>1. ¿De qué manera varía la estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022?</p> <p>2. ¿En qué porcentaje varía la resistencia a la humedad por inmersión compresión de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022?</p> <p>3. ¿Cuál es el impacto en el desempeño del ahuellamiento de mezclas asfálticas de granulometría alterada al aplicar la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022?</p>	<p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b></p> <p>1. Evaluar la variación en la estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.</p> <p>2. Determinar en qué porcentaje varía la resistencia a la humedad por inmersión compresión de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.</p> <p>3. Analizar el impacto en el desempeño del ahuellamiento de mezclas asfálticas de granulometría alterada, al aplicar la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.</p>	<p><b>HIPOTESIS ESPECÍFICO</b></p> <p>1. La estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas de granulometría alterada resultan óptimas por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.</p> <p>2. La resistencia a la humedad por inmersión compresión de mezclas asfálticas de granulometría alterada varía en 20% al aplicar la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.</p> <p>3. El nivel de ahuellamiento de mezclas asfálticas de granulometría alterada se reduce por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.</p>		<p>VD: PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS</p>	<p>D1: % DE SUPRESIÓN DE TAMAÑOS INTERMEDIOS</p>	<p>I1: 5% I2: 10% I3: 20%</p>
					<p>D1: MARSHALL</p> <p>D2: DAÑO POR HUMEDAD</p> <p>D3: DESEMPEÑO</p>	<p>I1: ESTABILIDAD Y FLUJO</p> <p>D2: INMERSIÓN COMPRESIÓN</p> <p>D3: AHUELLAMIENTO</p>