

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Efecto del intemperismo estacional local en las
propiedades mecánicas y ciclo de vida de mezclas
densas en la ciudad de Huancayo 2022**

Roland Gian Frank Refulio Castañeda

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 : 4 de Setiembre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "EFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) de la E.A.P. de Ingeniería Civil; se procedió con la carga del documento a la plataforma REFULIO CASTAÑEDA, ROLAND GIAN FRANK, "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % 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: 6) 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,



Omar Augusto Hidalgo Quispe
Asesor de tesis

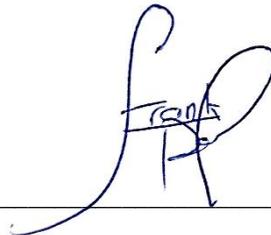
DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Roland Gian Frank Refulio Castañeda, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 47515467, 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: "EFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE 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.

04 de setiembre de 2023



Roland Gian Frank Refulio Castañeda

DNI. No. 47515467

informe 2

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	14%	2%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
9	redi.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	

<1 %

10

www.outlookindia.com

Fuente de Internet

<1 %

11

latam.tirantonline.com

Fuente de Internet

<1 %

12

repository.eia.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

13

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

14

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

15

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

16

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

17

riunet.upv.es

Fuente de Internet

<1 %

18

bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

coek.info

Fuente de Internet

<1 %

21	Submitted to Universidad Catolica de Avila Trabajo del estudiante	<1 %
22	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
25	"Generación de series artificiales de irradiación solar diaria para Chile a partir de los datos del Archivo Nacional Solarimétrico /", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2016 Publicación	<1 %
26	Qing-An Zhang, Yuan Shen, Xue-Hui Fan, Yan-Ying Yan, Juan Francisco García Martín. "Online monitoring of electrical conductivity of wine induced by ultrasound", CyTA - Journal of Food, 2015 Publicación	<1 %
27	cedi.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	<1 %

30	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
31	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
32	eltiempo.pe Fuente de Internet	<1 %
33	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
34	moam.info Fuente de Internet	<1 %
35	www.jove.com Fuente de Internet	<1 %
36	ncela.ed.gov Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.ulasamericas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to Universidad Distrital FJDC Trabajo del estudiante	<1 %
39	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
40	misaportaciones-majusa.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

42	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
44	revistas.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
45	www.edomex.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
46	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
48	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
49	1library.co Fuente de Internet	<1 %
50	dvrpc.org Fuente de Internet	<1 %
51	ojournal.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
52	repositorio.uide.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
53	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %

54	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
55	www.asemaonline.com Fuente de Internet	<1 %
56	www.casmsite.org Fuente de Internet	<1 %
57	anchor.fm Fuente de Internet	<1 %
58	bibadm.ucla.edu.ve Fuente de Internet	<1 %
59	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
60	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
61	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
62	rdu.unc.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
63	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
64	repositorio.une.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
65	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

66	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
67	www.frontera.info Fuente de Internet	<1 %
68	www.theibfr.com Fuente de Internet	<1 %
69	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
70	"El Mantón de Manila. Examen morfológico, iconográfico y material, en pro de su conservación y restauración. Criterios y metodología de intervención para su consolidación.", 'Universitat Politecnica de Valencia' Fuente de Internet	<1 %
71	repositorio.uaustral.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 5 words

Excluir bibliografía

Activo

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Continental, por la formación profesional brindada en cada uno de los cursos llevados.

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me apoyaron durante todo mi paso por la Universidad Continental.

ÍNDICE

PORTADA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	18
1.1. Planteamiento del Problema.....	18
1.2. Formulación del Problema.....	20
1.2.1. Problema General	20
1.2.2. Problemas Específicos.....	21
1.3. Objetivos.....	21
1.3.1. Objetivo general	21
1.3.2. Objetivos específicos	21
1.4. Justificación e importancia.....	22
1.4.1. Justificación práctica	22
1.4.2. Justificación económica	22
1.4.3. Justificación metodológica.....	22
1.4.4. Importancia.....	23
1.5. Delimitación de la investigación.....	23
1.5.1. Delimitación espacial.....	23
1.5.2. Delimitación temporal.....	24
1.5.3. Delimitación conceptual	24
1.6. Hipótesis y descripción de variables.....	24

1.6.1. Hipótesis General.....	24
1.6.2. Hipótesis Específicas	24
1.7. Variables.....	25
1.7.1. Variable Independiente	25
1.7.2. Variables Dependientes	25
1.8. Operacionalización	25
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	27
2.1. Antecedentes del Problema.....	27
2.1.1. Antecedentes Nacionales.....	27
2.1.2. Antecedentes Internacionales	27
2.2. Bases Teóricas.....	31
2.2.1. Intemperismo en mezclas asfálticas.....	31
2.2.2. Mezclas asfálticas densas.....	38
2.3. Definición de Términos Básicos	43
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	46
3.1. Métodos y alcance de la investigación	46
3.1.1. Método de Investigación	46
3.1.2. Nivel de Investigación	46
3.1.3. Tipo de Investigación	47
3.2. Diseño de la investigación	47
3.3. Población y muestra	47
3.3.1. Población.....	47
3.3.2. Muestra	48
3.3.3. Muestreo	48
3.4. Técnicas de recolección de datos	48
3.5. Instrumento de análisis de datos	48
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49

4.1. Estimación de radiación solar.....	49
4.2. Estimación de precipitación	52
4.3. Presentación de materiales	52
4.3.1. Material granular	52
4.3.2. Cemento asfáltico.....	58
4.3.3. Filler	59
4.4. Combinación y diseño de mezcla	60
4.4.1. Propiedades mecánicas de muestras – OE1	64
4.4.2. Propiedades mecánicas de muestras expuestas a rayos UV – OE2	72
4.4.3. Ensayo de pulverizado de agua a presión – OE3	91
4.5. Análisis de resultados – OG	100
4.6. Análisis estadístico	108
CONCLUSIONES	142
RECOMENDACIONES.....	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	146
ANEXOS	148
ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO.....	148
ANEXO 2. CERTIFICADOS	172
ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	186

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de la variable	25
Tabla 2	Documentos técnicos de durabilidad	36
Tabla 3	Criterios de evaluación erosiva	37
Tabla 4	Valores de la radiación solar (kWh/m ² /día) en la región Junín	49
Tabla 5	Valores de la precipitación (mm/día) en la región Junín.....	52
Tabla 6	Fuente de agregados - cantera de Matahuasi	53
Tabla 7	Granulometría de piedra chancada de ½”.....	54
Tabla 8	Granulometría de arena zarandeada	55
Tabla 9	Granulometría de arena chancada	57
Tabla 10	Tipo de ligante asfáltico	58
Tabla 11	Ficha Técnica del cemento asfáltico PEN 85/100	59
Tabla 12	Granulometría de cal hidratada	59
Tabla 13	Gradación MAC 2 para mezclas asfálticas densas	61
Tabla 14	Porcentajes en mezcla de agregados de gradación MAC 2.....	61
Tabla 15	Porcentajes de la mezcla de agregados MAC 2	62
Tabla 16	Combinación teórica por porcentaje de cemento asfáltico – Muestra control	63
Tabla 17	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica densa al 4% y 4.5% de c.a....	64
Tabla 18	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica densa al 5% y 5.5% de c.a....	65
Tabla 19	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica densa al 6% y 6.5% de c.a....	67
Tabla 20	Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico del 5.45% - Muestra control	71
Tabla 21	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 45 horas (1/2)	72
Tabla 22	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 45 horas (2/2)	73
Tabla 23	Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico del 5.37% - Muestra envejecida 45h	76
Tabla 24	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 90 horas (1/2)	76

Tabla 25	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 90 horas (2/2)	77
Tabla 26	Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico del 5.23% - Muestra envejecida 90h	80
Tabla 27	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 135 horas (1/2)	80
Tabla 28	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 135 horas (2/2)	81
Tabla 29	Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico del 5.07% - Muestra envejecida 135h	84
Tabla 30	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 180 horas (1/2)	84
Tabla 31	Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 180 horas (2/2)	85
Tabla 32	Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico del 4.92% - Muestra envejecida 180h	88
Tabla 33	Porcentaje de pérdida a una presión de agua de 0.5 kPa.....	92
Tabla 34	Porcentaje de pérdida a una presión de agua de 1.0 kPa.....	93
Tabla 35	Porcentaje de pérdida a una presión de agua de 1.5 kPa.....	95
Tabla 36	Porcentaje de pérdida a una presión de agua de 2.0 kPa.....	96
Tabla 37	Porcentaje de pérdida a una presión de agua de 2.15 kPa.....	98
Tabla 38	Propiedades de estabilidad y flujo ante niveles de radiación en un año....	101
Tabla 39	Porcentaje de pérdida de material ante niveles de precipitación en un año	104
Tabla 40	Descriptivos de flujo (mm) ante envejecimiento con radiación ultravioleta	109
Tabla 41	Prueba de normalidad de flujo (mm) ante envejecimiento con radiación ultravioleta.....	111
Tabla 42	Correlaciones de flujo (mm) ante envejecimiento con radiación ultravioleta	111
Tabla 43	Descriptivos de estabilidad (kg) ante envejecimiento con radiación ultravioleta	112

Tabla 44 Prueba de normalidad de estabilidad (kg) ante envejecimiento con radiación ultravioleta.....	114
Tabla 45 Correlaciones de estabilidad (kg) ante envejecimiento con radiación ultravioleta.....	115
Tabla 46 Descriptivos de pérdida (%) a diferentes distancias a presiones de 1.5 kPa, 2.0 kPa y 2.15 kPa	116
Tabla 47 Prueba de normalidad de pérdida (%) a diferentes distancias a presiones de 1.5 kPa, 2.0 kPa y 2.15 kPa	120
Tabla 48 Correlaciones de pérdida (%) a diferentes distancias a presión de 1.5 kPa	121
Tabla 49 Correlaciones de pérdida (%) a diferentes distancias a presión de 2.0 kPa	121
Tabla 50 Correlaciones de pérdida (%) a diferentes distancias a presión de 2.15 kPa	122
Tabla 51 Descriptivos de estabilidad (kg) por mes ante envejecimiento con radiación ultravioleta.....	123
Tabla 52 Prueba de normalidad de estabilidad (kg) por mes ante envejecimiento con radiación	127
Tabla 53 Correlaciones de estabilidad (kg) por mes ante envejecimiento con radiación	128
Tabla 54 Descriptivos de flujo (mm) por mes ante envejecimiento con radiación ultravioleta.....	130
Tabla 55 Prueba de normalidad de flujo (mm) por mes ante envejecimiento con radiación	134
Tabla 56 Correlaciones de flujo (mm) por mes ante envejecimiento con radiación..	134
Tabla 57 Descriptivos de pulverizado de agua a presión por mes	136
Tabla 58 Prueba de normalidad de pulverizado de agua a presión por mes	140
Tabla 59 Correlaciones de pulverizado de agua a presión por mes	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fallas superficiales visibles sobre la carpeta de rodadura	20
Figura 2 Red vial expuesta a continuas lluvias características de la región.....	20
Figura 3 Ilustraciones de a) la difusión de la humedad hacia la interfaz, b) la erosión de las partículas de masilla, y c) la presión debida al tráfico.	34
Figura 4 Ilustración del mecanismo de agrietamiento a baja temperatura.	35
Figura 5 Ensayo durabilidad norma SLS 1382-2	38
Figura 6 Cantera de Matahuasi de materiales granulares	53
Figura 7 Curva granulométrica para piedra chancada de ½”	55
Figura 8 Curva granulométrica para arena zarandeada	56
Figura 9 Curva granulométrica para arena chancada.....	58
Figura 10 Curva granulométrica para cal hidratada	60
Figura 11 Curva de mezcla de agregados – Muestra control.....	63
Figura 12 Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)	68
Figura 13 Peso unitario (gr/cm ³) ante variación de Cemento asfáltico (%)	69
Figura 14 Vacíos de agregado mineral (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)	69
Figura 15 Vacíos llenos de cemento asfáltico (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)	70
Figura 16 Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%).....	70
Figura 17 Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%)	71
Figura 18 Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 45h.....	74
Figura 19 Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 45h.....	75
Figura 20 Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 45h.....	75
Figura 21 Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 90h.....	78

Figura 22 Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 90h.....	79
Figura 23 Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 90h.....	79
Figura 24 Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 135h.....	82
Figura 25 Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 135h.....	83
Figura 26 Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 135h.....	83
Figura 27 Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 180h.....	86
Figura 28 Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 180h.....	87
Figura 29 Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 180h.....	87
Figura 30 Vacíos (%) por envejecimiento con radiación ultravioleta (horas).....	89
Figura 31 Flujo (mm) por envejecimiento con radiación ultravioleta (horas).....	90
Figura 32 Estabilidad (kg) por envejecimiento con radiación ultravioleta (horas).....	91
Figura 33 Pérdida (%) a 0.5 kPa de presión por pulverizado.....	93
Figura 34 Pérdida (%) a 1.0 kPa de presión por pulverizado.....	94
Figura 35 Pérdida (%) a 1.5 kPa de presión por pulverizado.....	96
Figura 36 Pérdida (%) a 2.0 kPa de presión por pulverizado.....	97
Figura 37 Pérdida (%) a 2.15 kPa de presión por pulverizado.....	99
Figura 38 Resumen de pérdida (%) para el pulverizado de agua a diferentes presiones.....	100
Figura 39 Estabilidad (kg) ante niveles de Radiación ultravioleta (kWh/m ² /día) en un año.....	102
Figura 40 Flujo (mm) ante niveles de Radiación ultravioleta (kWh/m ² /día) para un año.....	103

Figura 41 Pulverizado de agua a presión ante niveles de Precipitación (mm) para un año.....	106
Figura 42 Radiación ultravioleta (kWh/m ² /día) vs. Precipitación (mm/día)	107
Figura 43 Estabilidad (kg)- Pulverizado de agua a presión.....	108
Figura 44 Dispersión de puntos de flujo (mm) ante envejecimiento con radiación ultravioleta.....	112
Figura 45 Dispersión de puntos de estabilidad (kg) ante envejecimiento con radiación ultravioleta.....	116
Figura 46 Dispersión de pérdida (%) a diferentes distancias a presiones de 1.5 kPa, 2.0 kPa y 2.15 kPa	123
Figura 47 Dispersión de puntos de estabilidad (kg) por mes ante envejecimiento con radiación	128
Figura 48 Dispersión de puntos de flujo (mm) por mes ante envejecimiento con radiación	135
Figura 49 Dispersión de puntos de pulverizado de agua a presión por mes.....	141

RESUMEN

El daño que suele ocasionar los agentes erosivos como el sol y la lluvia en la carpeta asfáltica puede llegar a producir fallas superficiales de distintas severidades, la intensidad puede llegar a variar conforme con las particularidades climáticas de la región, por lo que la presente investigación se traza por objetivo principal el analizar el efecto del intemperismo estacional local en la alteración las propiedades mecánicas y el ciclo de vida de mezclas densas en la ciudad de Huancayo.

Con la finalidad de encontrar el ciclo de vida que se cumple según las características climáticas de la ciudad de Huancayo, se procede a inducir el daño por radiación solar mediante un equipo especializado para evaluar la alteración en sus propiedades físicas mecánicas respecto de un diseño de mezcla control. Así mismo, se induce el daño por precipitación, mediante el ensayo de pulverizado de agua a presión que permite evaluar como el agua genera daños sobre la mezcla asfáltica control, mediante la pérdida de masa original. Estos datos encontrados se calibran mediante los reportes mensuales de radiación y precipitación presentados en la región de Huancayo, por lo que se genera un ciclo de vida anual respecto al daño inducido mediante ensayos normados.

El ciclo de vida encontrado respecto de las características climáticas de la región de Huancayo llega a la conclusión de que en los meses de enero y febrero se llega a presentar los mayores daños producidos por radiación solar y por precipitación. En función de las propiedades evaluadas sobre el diseño de mezcla patrón, se encuentra un declive particular en la estabilidad y un acrecentamiento en el flujo que alcanza a valores que no cumplen con los requerimientos normativos mínimos establecidos.

PALABRAS CLAVE: Intemperismo, daños por radiación, daño por precipitación, propiedades mecánicas, mezclas asfálticas densas

ABSTRACT

The damage that is usually caused by erosive agents such as the sun and the rain in the asphalt layer can produce surface failures of different severities, the intensity can vary according to the climatic characteristics of the region, so the present The main objective of this research is to analyze the effect of local seasonal weathering on the alteration of the mechanical properties and the life cycle of dense mixtures in the city of Huancayo.

In order to find the life cycle that is fulfilled according to the climatic characteristics of the Huancayo region, damage by solar radiation is induced by means of a specialized team to evaluate the alteration in its mechanical physical properties with respect to a control mix design. Likewise, damage is induced by precipitation, through the pressurized water spray test that allows evaluating how water generates damage on the control asphalt mixture, through the loss of original mass. These data found are calibrated through the monthly reports of radiation and precipitation presented in the Huancayo region, so an annual life cycle is generated regarding the damage induced through standardized tests.

The life cycle of life found regarding the climatic characteristics of the Huancayo region concludes that in the months of January and February the greatest damage caused by solar radiation and precipitation occurs. Based on the properties evaluated on the standard mix design, a representative decrease in stability and an increase in flow are found, reaching values that do not meet the minimum established regulatory requirements.

KEY WORDS: Weathering, radiation damage, precipitation damage, mechanical properties, dense asphalt mixtures

INTRODUCCIÓN

Durante la vida útil de un pavimento asfáltico, está sujeto a diferentes tipos de deterioros que se producen en fuentes como las cargas mecánicas del tráfico y los mecanismos de deterioro que se originan en el entorno circundante. El deterioro de la estructura es especialmente grave en invierno e inicios de la primavera, cuando pueden producirse daños en forma de, por ejemplo, baches, desprendimiento de piedras y separación de capas. Estos daños relacionados con el intemperismo pueden ser causados por varios fenómenos diferentes, o una combinación de ellos, que están activos en diferentes escalas de tiempo y son interdependientes. Esto hace que sea difícil caracterizar y predecir la aparición y el desarrollo del deterioro. Muchas de las formas visuales de daño que surgen durante y después de las temporadas de invierno y verano pueden estar relacionadas con la presencia prolongada de humedad en el pavimento, lo que puede generar una degradación lenta de las propiedades individuales del material, lo que hace que el asfalto sea más susceptible al daño. Si todavía hay humedad dentro de la mezcla asfáltica cuando la temperatura cae para después volver a subir en periodos cortos de tiempo, puede contribuir aún más al daño por la expansión que ocurre, un fenómeno comúnmente conocido como daño por erosión. (Das, Jelagin, & Birgisson, 2013)

A escala estructural, la precipitación y la radiación solar atrapada en las capas inferiores del pavimento podría provocar un deterioramiento, lo que a menudo resulta en grietas visibles en el centro de la superficie del pavimento. Además, las bajas temperaturas aumentan el daño en la mezcla, ya que el betón (y la masilla) son más frágiles e incapaces de absorber energía y, por lo tanto, más propensos a fracturarse. La baja temperatura también puede hacer que el asfalto se encoja, creando lo que se conoce como agrietamiento por baja temperatura. Además, para garantizar unas condiciones de conducción seguras, se realizan una serie de acciones de mantenimiento relacionadas con el intemperismo durante la temporada invernal. Entre estos se encuentran la aplicación de aditivos en la superficie del pavimento, así como el uso de máquinas especializadas, lo cual, a nivel nacional, muchas veces no se toma en cuenta por falta de disponibilidad tecnológica. (Kringos, Kasbergen, Scarpas, & Selvadurai, 2008)

La complejidad de caracterizar y predecir la evolución del daño complica el procedimiento de reducción y, en última instancia, de prevención del daño. Un primer paso hacia esta caracterización y predicción es identificar los parámetros más dominantes, tanto de estructura como de material, en el proceso de desarrollo del daño. Los métodos de prueba actuales, aunque son totalmente capaces de indicar el desarrollo de daños dentro de la muestra específica, comúnmente se construyen de tal manera que el campo de tensión es tan complejo que las conclusiones extraídas de estas pruebas dependerán de la geometría y, por lo tanto, pueden conducir a conclusiones erróneas. El acondicionamiento ambiental aumenta aún más la complejidad de las pruebas, de modo que, a menudo, es difícil sacar conclusiones directas sobre el comportamiento final del pavimento. Incluso las conclusiones sobre las opciones de material o diseño pueden ser erróneas debido a esto. Por lo tanto, reducir el daño al pavimento en base a este tipo de pruebas es problemático. Debido a la complejidad de los diferentes mecanismos de daño, tanto en cuanto a sus escalas de tiempo activas como al efecto de su combinación, es importante no confiar únicamente en dichas pruebas estructurales. En cambio, es importante identificar los mecanismos y parámetros más dominantes que tienen la mayor influencia en el proceso de evolución del daño, así como caracterizar el material en las condiciones pertinentes. (Varveri, Zhu, & Kringos, 2015)

Para abordar esto, la presente investigación busca dar un primer paso en identificar el ciclo de vida de un diseño de mezcla asfáltica en caliente bajo las condiciones climáticas del ciclo de vida para Huancayo, por lo que a continuación se muestra al contenido de cada capítulo se muestra la organización de la investigación.

CAPÍTULO I: Se identifica el escenario problemático mediante el planteamiento del problema que se pretende resolver en la investigación a desarrollar.

CAPÍTULO II: Se muestran antecedentes nacionales e internacionales afines con la investigación, además se presentan las bases teóricas respecto a las variables en estudio.

CAPÍTULO III: Se identifica la metodología de la investigación según el método y alcance que presentará, definiendo su diseño, población y muestra y las

técnicas de recolección de datos que son necesarios para el desarrollo del estudio.

CAPÍTULO IV: Se presenta el desarrollo de los resultados de la investigación, la discusión de resultados y el análisis estadístico para la validación de datos respectiva.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones para cada objetivo de investigación planteado, se anexa el panel fotográfico, los certificados de ensayos y matriz de consistencia de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del Problema

El pavimento de mezcla asfáltica en caliente típico consta de varias capas, que constituyen su estructura. La capa que se encuentra en contacto directo al paso del tráfico, conocida como capa de rodadura, cumple una función importante dentro del paquete estructural que puede llegar a ser afectado por factores erosivos. Mediante el cumplimiento del requerimiento mínimo establecido por la norma, la mezcla que conforma la carpeta de rodadura cumple la función de transferir la carga hacia las capas inferiores. Una propiedad crítica de la mezcla asfáltica es su capacidad para adherirse al agregado mineral y mantener esta unión (es decir, durabilidad). Sin embargo, producto del intemperismo y de los agentes erosivos estacionales, las propiedades pueden llegar a alterarse categóricamente. La superficie de la carpeta de rodadura puede degradarse en la interfaz entre el asfalto y el agregado (pérdida de adherencia) producto de factores como la intensidad de carga vehicular y las condiciones ambientales, reflejando de esta manera una realidad problemática. (Iliopolov, Nikulin, & Sayenko, 2006)

A nivel mundial, se encuentra presente esta realidad problemática donde la humedad y la radiación solar son los principales factores ambientales que afectan adversamente la calidad de la mezcla asfáltica y principalmente resulta en la degradación de la fuerza de adherencia. El daño inducido por la humedad dentro de los pavimentos HMA es un problema mundial que reduce la vida útil de las carreteras en función a sus características geográficas (St. Martin, et al. 2003). El daño por humedad es causado por mecanismos de deterioro inducidos por la presencia o infiltración de humedad y se manifiesta en un fenómeno conocido como deterioro, donde

el ligante asfáltico es “desprendido” del agregado. En 2002, una encuesta de agencias estatales de carreteras, oficinas de tierras federales de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) y provincias canadienses seleccionadas reveló que cuarenta y cinco de las cincuenta y cinco agencias que respondieron reconocieron un problema relacionado con la humedad en sus pavimentos HMA (Hicks, et al. otros 2003). De las cincuenta y cinco agencias, el ochenta y siete por ciento analiza las mezclas asfálticas en caliente para determinar la sensibilidad a la humedad.

En las diversas regiones que componen nuestro país, existe una gran cantidad de diversidad geográfica, por lo que la realidad problemática puede llegar a agravarse de forma muy imprevisible, ante la presencia de fallas tempranas sobre la superficie como se puede apreciar en la figura 1. Teniendo presente que existen localidades con temperaturas ambientales muy altas (región Selva) que pueden elevar representativamente la temperatura de la carpeta asfáltica, lo que podría generar un desgaste temprano en el pavimento y localidades con presencia muy alta de lluvia (región Sierra) que muestra al pavimento al daño por humedad por el constante estado de saturación al que se encuentra expuesto.

A nivel local, se presenta en la región de Huancayo una característica muy marcada sobre las temperaturas medias ambientales que se presentan a lo largo del año. Donde se presentan temporadas muy cálidas y temperaturas muy lluviosas, como se presenta en la imagen 2, donde la carpeta de rodadura está expuesta a un daño muy agresivo producto del intemperismo característico de la región. Por lo que sería necesario evaluar métodos de diseño para prevenir el grado de daño que se produce en el ciclo estacional natural de la región de Huancayo.



Figura 1
Fallas superficiales visibles sobre la carpeta de rodadura

Fuente: Reporte situación vial 2020, RHT



Figura 2
Red vial expuesta a continuas lluvias características de la región

Fuente: Noticias de Huancayo, Andina

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo el efecto del intemperismo estacional local altera las propiedades mecánicas y el ciclo de vida de mezclas densas en la ciudad de Huancayo 2022?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas características del diseño de mezcla elaborado para cumplir con los requerimientos normativos en Huancayo 2022?
- ¿Qué comportamiento presenta la mezcla asfáltica diseñada ante el daño inducido por radiación solar de acuerdo con el reporte mensual promedio de Huancayo 2022?
- ¿Qué comportamiento presenta la mezcla asfáltica diseñada ante el daño inducido por humedad de acuerdo con el pulverizado de agua a presión en Huancayo 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar el efecto del intemperismo estacional local al alterar las propiedades mecánicas y el ciclo de vida de mezclas densas en la ciudad de Huancayo 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer las propiedades mecánicas características del diseño de mezcla elaborado para cumplir con los requerimientos normativos en Huancayo 2022.
- Determinar el comportamiento que presenta la mezcla asfáltica diseñada ante el daño inducido por radiación solar de acuerdo con el reporte mensual promedio de Huancayo 2022.
- Determinar el comportamiento que presenta la mezcla asfáltica diseñada ante el daño inducido por humedad de acuerdo con el pulverizado de agua a presión en Huancayo 2022.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación práctica

Se presentan tres componentes principales como justificación práctica de esta investigación, comenzando con el análisis de las propiedades de diseño en la mezcla asfáltica control para estudiar el efecto de la humedad mediante el ensayo de pulverizado de agua a presión; el segundo componente es el análisis del efecto de la radiación solar en las propiedades mecánicas básicas de diseño, y finalmente, desarrollar de forma conceptual un marco de evaluación y desarrollo de criterios de desempeño específicos relacionados con el daño inducido por la humedad y por radiación solar en las mezclas asfálticas en caliente a través de un análisis mensual por las características climáticas presentes en la región de Huancayo y el daño proyectado por el intemperismo que se produce de forma local.

1.4.2. Justificación económica

La comprobación del grado de severidad que se puede llegar a producir mediante un análisis del daño por humedad y por radiación solar, permite justificar de forma económica la presente investigación de acuerdo a una media anual obtenida de los reportes mensuales ante la severidad climática esperada, con la finalidad de tener presente estos datos y tomar en cuenta estos factores intempestivos que pueden llegar a originar fallas tempranas en los pavimentos, de esta manera generar un ahorro por mantenimientos rutinarios prematuros producidos por el intemperismo característico de la región de Huancayo.

1.4.3. Justificación metodológica

Como parte determinante para la realización de la investigación, se plantea la justificación metodológica a través de la información bibliográfica útil que permite establecer parámetros de medición del daño que se puede llegar a producir en el pavimento por la humedad generada por lluvia y la oxidación generada por la radiación solar. Presentando de esta manera la metodología necesaria para la realización del ensayo de pulverizado de

agua a presión para inducir el daño por humedad (NORMA IS – 728) y el sometimiento de la mezcla a daño inducido por radiación solar mediante la calibración del equipo de rayos UV NORMA UVB (280-315) para mezclas asfálticas en caliente.

1.4.4. Importancia

La importancia de la investigación se basa en la cantidad de información útil que se estudia a lo largo de su desarrollo, proporcionando información básica sobre la necesidad de mezclas asfálticas duraderas, los objetivos de la investigación y el enfoque y la estructura de la disertación. También se realiza una revisión de la literatura que define el daño por humedad y revisa los procesos que conducen al daño por humedad; así como también el daño por radiación solar. Se discuten los métodos de prueba más comunes para evaluar la susceptibilidad a la humedad de las mezclas de asfalto compactado y se presenta un método de prueba para medir la fuerza de unión en la interfase asfalto-árido. Se identifican los modelos de daño por humedad disponibles y se analiza el modelo del daño producido en la región de Huancayo de forma mensual, de acuerdo a los reportes emitidos por Senamhi desarrollado por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú, con la finalidad de establecer como afecta el intemperismo estacional como una forma de simular el daño inducido por la humedad y radiación solar en una mezcla asfáltica.

1.5. Delimitación de la investigación

1.5.1. Delimitación espacial

De acuerdo con la información tomada de Senami para la elaboración del análisis del daño estacional local ocasionado por el intemperismo (daño por humedad y daño por radiación solar), se delimita de forma espacial a la provincia de Huancayo, ya que se tomarán sus reportes climáticos mensuales característicos para estimar en qué medida se ocasiona mayores daños sobre la mezcla asfáltica en caliente sobre la alteración de sus propiedades mecánicas.

1.5.2. Delimitación temporal

De los diversos ensayos proyectados a realizar y la información bibliográfica requerida para el desarrollo de la presente investigación, se delimita de forma espacial la presente investigación a aproximadamente tres meses para elaboración completa de las pruebas en laboratorio y el análisis estacional sobre el daño por humedad y radiación solar ocasionada por el intemperismo de la provincia de Huancayo.

1.5.3. Delimitación conceptual

La delimitación conceptual se basa en la normativa e información bibliográfica básica para el correcto desarrollo de la investigación, con lo cual se establece seguir el método de Marshall para la elaboración del diseño patrón y la normativa internacional de referencia para la realización de los ensayos de daño inducido por humedad y daño inducido por radiación solar para el estudio de intemperismo estacional.

1.6. Hipótesis y descripción de variables

1.6.1. Hipótesis General

El efecto del intemperismo estacional local altera las propiedades mecánicas y el ciclo de vida de mezclas densas deteriorándolas significativamente para Huancayo 2022.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- Las propiedades mecánicas características del diseño de mezcla elaborado cumplen ampliamente con los requerimientos normativos Marshall en Huancayo 2022.
- El comportamiento de la mezcla asfáltica diseñada se deteriora ante el daño inducido por radiación solar de acuerdo con el reporte mensual promedio de Huancayo 2022.

- El comportamiento de la mezcla asfáltica diseñada es negativo ante el daño inducido por humedad de acuerdo con el pulverizado de agua a presión en Huancayo 2022.

1.7. Variables

1.7.1. Variable Independiente

Intemperismo estacional local

1.7.2. Variables Dependientes

Propiedades Mecánicas (MAC)

1.8. Operacionalización

Tabla 1
Operacionalización de la variable

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
Vi: INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL	El intemperismo es el proceso que suele provocar una modificación del estado o la posición natural de un material a partir de una acción química, física. Las condiciones climáticas, el agua, el sol y el aire pueden inducir estas alteraciones.	ESTADO CONTROL	Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301	Ficha recolección de datos	Razón
			Diseño en cumplimiento método MARSHALL		
			Análisis de propiedades volumétricas MTC E 505		
		ESTADO DAÑO POR HUMEDAD	Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301		
			Diseño en cumplimiento método MARSHALL		
			Ensayo de pulverizada agua a presión IS-5454		
		ESTADO DAÑO POR RADIACIÓN	Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301		
			Diseño en cumplimiento método MARSHALL		
			Ensayo daño inducido por rayos UV AASHTO-3571		
Vd: PROPIEDADES MECÁNICAS (MAC)	Las propiedades mecánicas de un material son aquellas que perturban a	ESTABILIDAD	Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301	Ficha recolección de datos	Razón
			Ensayo de resistencia mezcla MTC E 504		
			Toma de medidas de muestras MTC E 504		

	la resistencia mecánica y a la capacidad de los materiales cuando se les aplica una fuerza determinada.	FLUJO	Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301		
			Ensayo de resistencia mezcla MTC E 504		
			Toma de medidas de muestras MTC E 504		
		DESGASTE	Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301		
			Desgaste de muestras MTC E 515		
			Gravedad Especifica MTC E 506		

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Según (Camargo Pargo, 2016) en la tesis: “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”; el objetivo de esta investigación es evaluar aplicando la metodología de diseño Marshall, si la adición por vía húmeda de HUSIL al asfalto permite obtener una mezcla asfáltica tibia aplicando la granulometría de una mezcla en caliente tipo MGC-1. Para ello la metodología propuesta consistió en elegir un diseño de una mezcla gruesa en caliente MGC-1 y una mezcla asfáltica tibia elaborada desde la granulometría de la mezcla MGC-1 pero producida bajo técnicas de espumado con adición de zeolita, para este caso con la fabricación de probetas cilíndricas, elaboradas siguiendo la norma invias 748-07, ensayadas posteriormente en la prensa Marshall para determinar su estabilidad y deformación. También se determinará la presencia de vacíos de las mezclas elaboradas, las gravedades específicas de los componentes y probetas, antes del ensayo de rotura. Los resultados obtenidos indicaron que el óptimo contenido de aditivo Husil es del 2% y el óptimo contenido de cemento asfáltico es del 4.8%, esto se obtuvo tras analizar que la gradación MGC-1 mejora las propiedades de rigidez de la mezcla y mejora sus características de rigidez y presencia de vacíos; asimismo, se vio una mejora en el nivel de ahuellamiento obtenido y valor densidad a 130°C de temperatura.

Según (Lemus Ballesteros, Mosquera Benavides, & Virviescas Barbosa, 2018) en la tesis: “Estudio de mezclas asfálticas densas con adición de materiales alternativos”; el objetivo de esta investigación es la evaluación de los parámetros de resistencia Marshall de una mezcla asfáltica al adherir materiales de distintos tipos. La metodología aplicada consistió en realizar ensayos en laboratorio, contrastando una mezcla asfáltica con adición de grano de caucho reciclado y otra con la adición de agentes reductores de temperatura logrando y evaluando su comportamiento en respuesta a pruebas de estabilidad y fluctuación predeterminadas a lo largo del ensayo Marshall. Subsiguientemente a la mezcla transformada con GCR y el agente reductor de temperatura se utiliza el RAP a la mezcla en una dosis de 70% material nuevo y 30% material reciclado. A nivel de laboratorio, se reducen las bajas temperaturas de mezclado y compactación (15°C) de las mezclas modificadas con GCR y 30% de pavimento asfáltico reciclado, Al utilizar ácidos de origen vegetal, se cumplen los rangos de estabilidad y flujo. En conclusión, se logran disminuir las temperaturas de mezclado y compactación (15°C) de las mezclas con GCR de adición y 30% de pavimento asfáltico reciclado, manejando los ácidos grasos de origen vegetal, y cumpliendo los rangos de estabilidad y flujo.

Según (Ramírez Escobar, 2021) en la tesis: “Evaluación de la resistencia a la fatiga en mezclas asfálticas tibias mediante la viga de flexión a cuatro puntos”; El objetivo del estudio es estimar el aumento de la vida útil de un pavimento elaborado con mezclas asfálticas tibias. La metodología que plantea es de caracterizar los materiales, agregados y asfaltos asignados en la investigación, variar los tipos de pavimento de pg 64-3, pg 70-22 y pg 76-22, con aditivos para mezclas tibias, y finalmente, realizar la evaluación de los diseños empleando un protocolo AMAAC, Poner en práctica las leyes de fatiga en la viga de flexión a cuatro puntos. Los resultados fueron tras aplicar el ensayo de tensión indirecta (TSR) que se reducen por los porcentajes de TSR al disminuir la temperatura de compactación en un 2 a 4%, interpretando que al variar la temperatura el asfalto presenta una buena cohesión, y que la relación asfalto-agregado presenta una buena

adhesión, y sobre todo que el efecto de humedad es alto, superando el mínimo de 80%. Respecto al ensayo de Rueda de Hamburgo, se obtuvo que al reducir la temperatura de compactación 30°C de lo convencional, que la deformación al no aplicar algún aditivo es superior al emplear el aditivo, interpretando que el empleo de aditivos mejora la compactación y densificación de las briquetas obtenidas. Respecto a la evaluación de la fatiga tras reducir la temperatura de compactación 30°C la evaluación de fatiga resultó igual al de una mezcla asfáltica en caliente.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Según (Pilares Calla, 2018) en la tesis titulada “Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con fibras de polipropileno incorporada para condiciones de zonas de altura”, tiene como objetivo principal el poder determinar el comportamiento de la MAC a zonas altas al adherir fibras de polipropileno. Para ello, se planteó evaluar los efectos de adherir fibras de polipropileno en diferentes porcentajes de 0.5%, 0.6% y 0.75%. Las diversas briquetas obtenidas fueron evaluadas con los ensayos de Marshall y de Módulo Resiliente en el Laboratorio de Estudios Especiales (LEE) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Los resultados obtenidos óptimos fueron para la adición de 0.6% de fibra de polipropileno con una estabilidad de 1461.4 kg y flujo de 3.8%. Los resultados del ensayo de módulo resiliente provistos por el laboratorio de estudios especiales (LEE) del MTC a las cuatro temperaturas bajas evaluadas (-15°C, -5°C, 5°C y 15°C) indicaban valores por debajo de los 40,000 psi, y es recomendable para mezclas asfálticas si se encuentran en el rango de 500,000 psi hasta 4,000,000 psi. Además, estos valores son mayores a los obtenidos en una mezcla sin aditivos. En conclusión, la adición de fibras de polipropileno demostró una mejora en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica, aumentando en un 38% la estabilidad de una muestra sin aditivos, y un 2.9% de presencia de vacíos, siendo el diseño final de 5.7% de cemento asfáltico y llegando a un incremento final de 27.3% en la relación Estabilidad/Flujo. Sin embargo, los resultados del ensayo de módulo resiliente no proveyeron una conclusión exacta, aunque esta

investigación muestra la importancia de su procedimiento con equipos y personal calificado.

Según (Chilcon Carrera & Ramírez Gálvez, 2017) en la tesis titulada “Elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenable para la reparación de pavimentos en el departamento de Lambayeque, 2017”, tiene como objetivo la elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenable para la reparación de pavimentos en el departamento de Lambayeque, por medio del método Marshall. El método a aplicar será la elaboración de las mezclas asfálticas en frío donde se emplearán agregados finos y una emulsión asfáltica CSS a una hora de rompimiento lento, se empleó el método área superficial equivalente para hallar el porcentaje de agregados, el contenido óptimo de asfalto y el porcentaje de emulsión requerido para la combinación de la mezcla, para el análisis de las mezclas asfálticas en frío almacenadas en bolsas de polietileno y baldes plásticos se empleó el método Marshall, con el que se analizaran los resultados según los requerimientos del manual de carreteras. Tras la aplicación de los ensayos requeridos se obtuvo que el mejor tipo de empaque para el almacenamiento de la mezcla asfáltica en frío con el que se mantienen las propiedades mecánicas óptimas de la mezcla y se conserva la humedad correcta es en balde plástico. Se obtuvo también que los porcentajes de agregados serán de 60% arena y 40% piedra, con las que se cumplen los límites de la gradación para mezclas densas tipo 2 (MDF-2). Además, se obtuvo que el óptimo contenido de asfalto será de 9.8% en casos de tráfico mediano y pesado, el OPH es del 7.2%. Respecto al tiempo de almacenamiento se obtuvo que a los 28 días las mezclas asfálticas en frío cumplen con los requerimientos de estabilidad y flujo para el diseño Marshall.

Según (Paredes Matta, 2009) en la tesis titulada “Comportamiento mecánico de las mezclas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt)”, tiene como objetivo la proposición de un ensayo de laboratorio que permita caracterizar

apropiadamente el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas SMA en las condiciones propias del país, demostrando que son apropiadas para su empleo en las vías del territorio peruano. La metodología especificada para el desarrollo de la investigación comienza con determinar la calidad de los agregados con ensayos de granulometría, límites de consistencia, gravedad específica Bulk, gravedad específica aparente, abrasión con la máquina de los Ángeles, partículas chatas y alargadas, durabilidad y equivalente de arena. También se deberá elaborar el diseño de Mezclas Asfálticas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt), se realizará el ensayo de escurrimiento en mezclas asfálticas sueltas, se elaborarán briquetas de Marshall y se realizarán ensayos de compresión edométrica. Los resultados fueron que, para cumplir con el diseño SMA, se requerirá de la combinación 5 especificada en la investigación, con el que se realizaron 40 briquetas para los ensayos necesarios. Tras la aplicación del diseño se obtuvo que el mayor porcentaje de agregados requerido fue del agregado grueso a diferencia de otras mezclas, ya que se requirió de piedra de tamaño nominal de 3/4" para su empleo. También se obtuvo en los resultados que, para obtener un buen comportamiento de la mezcla asfáltica densa, el ensayo de escurrimiento se realizó aplicando como filler una cantidad específica de fibra de celulosa y una determinada cantidad de asfalto. Finalmente, tras determinar los módulos de rigidez de las briquetas se encontró que la aplicación del ensayo edométrico fue más verídico que el empleo de la ecuación Witezak.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Intemperismo en mezclas asfálticas

Las propiedades del concreto asfáltico dependen de la temperatura, ya que el betún es un termoplástico típico. A temperaturas elevadas aumenta la viscosidad del ligante asfáltico. En este caso, incluso las tensiones más pequeñas pueden provocar la deformación del material, ya que los granos de los componentes minerales están conectados por capas intermedias de betún semilíquido. En estado elastoplástico, los granos minerales están

encerrados por betún, el cual, a esfuerzos bajos que no superan el límite elástico, tiene propiedades elásticas, y a esfuerzos altos, propiedades viscoelásticas. Cuando las partículas minerales están firmemente unidas por capas intermedias vítreas de betún, el concreto asfáltico tiene propiedades frágiles elásticas. Además de la temperatura, el concreto asfáltico en la estructura de una carretera se ve afectado por factores climáticos y naturales en forma de lluvia, agua de deshielo, radiación solar, etc. El agua que penetra en el espacio poroso del concreto asfáltico debilita la interacción entre los materiales minerales y la película de betún, y la radiación solar es suficiente para provocar cambios en la estructura molecular del concreto asfáltico debido a la oxidación. (Borshch, Grushko, Korolev, & Volkov, 1975)

Para tener en cuenta los principales factores operativos de acuerdo con los requisitos reglamentarios rusos, es necesario determinar la resistencia a la compresión del concreto bajo compresión uniaxial en tres estados:

- Cuando la superficie de un concreto asfáltico está a 50 °C (la temperatura del ligante está cerca del punto de reblandecimiento).
- Cuando la superficie de un concreto asfáltico está a 0 °C (cuando es posible que se formen grietas y fisuras debido a la fragilidad del betún).
- Cuando la superficie de un concreto asfáltico está a 25 °C (cuando es posible la saturación por agua; dicha saturación puede debilitar la unión entre el betún y la parte mineral y conducir a un rápido daño del pavimento).

2.2.1.1. Mecanismos de daños

Los daños que se producen en los pavimentos durante y después de la estación invernal pueden atribuirse a muchos mecanismos diferentes, que son interdependientes y están influidos por el historial de cargas ambientales y mecánicas del pavimento. Este apartado ofrece una breve visión general de algunos de los principales mecanismos, así como una discusión sobre su efecto combinado.

2.2.1.2. Daños por humedad

El agua reduce la energía superficial de las paredes de las grietas y debilita las uniones estructurales en la parte superior de la grieta (efecto Reh binder) cuando penetra en los micro defectos del concreto asfáltico. El movimiento del agua en los poros bajo carga conduce a una distribución desigual de las tensiones y a la destrucción del concreto asfáltico. (Borshch, Grushko, Korolev, & Volkov, 1975)

La resistencia al agua del concreto asfáltico depende de la densidad y la fuerza de contacto entre el betún y los materiales minerales.

La humedad ha sido identificada como uno de los principales contribuyentes al deterioro de los pavimentos de asfalto, no sólo durante el invierno sino durante todo el año. Las grietas, el ahuecamiento, el desgarró y el desprendimiento son algunos ejemplos de cómo puede manifestarse el daño causado por la humedad.

Los daños causados por la humedad no consisten en un único mecanismo, sino en varios. Al igual que los mecanismos relacionados con el daño invernal, todos ellos pueden acelerar los demás mecanismos de daño relacionados con la humedad. Uno de estos mecanismos de daños relacionados con la humedad es la difusión de la humedad a través de la mezcla asfáltica. Es entonces que cuando la mezcla asfáltica está sometida a la humedad, ésta puede difundirse a través de la masilla hacia los áridos, donde empezará a causar el desprendimiento en la interfaz masilla-árido (Kringos, Kasbergen, Scarpas, & Selvadurai, 2008). Cerca de la superficie, la difusión también puede causar la emulsificación del agua y el betún, deteriorando finalmente las propiedades del material (Varveri, Zhu, & Kringos, 2015).

En las mezclas de asfalto con una gradación más abierta, el flujo de humedad a través de los huecos de aire interconectados también puede contribuir al daño a través de una erosión de las partículas de masilla de las paredes de los huecos de aire. Además, en las mezclas de asfalto con menos huecos de aire interconectados, o en las estructuras abiertas que están totalmente saturadas de humedad, el paso rápido del tráfico sobre el pavimento puede causar una acción de bombeo dentro del

pavimento debido a la humedad "atrapada" dentro de los huecos de aire. Estas presiones locales pueden ser bastante elevadas y, cuando se repiten, someten a las paredes de los huecos de aire a daños locales adicionales. Los diferentes mecanismos de daño por humedad se ilustran en la figura 3. (Kringos, Kasbergen, Scarpas, & Selvadurai, 2008)

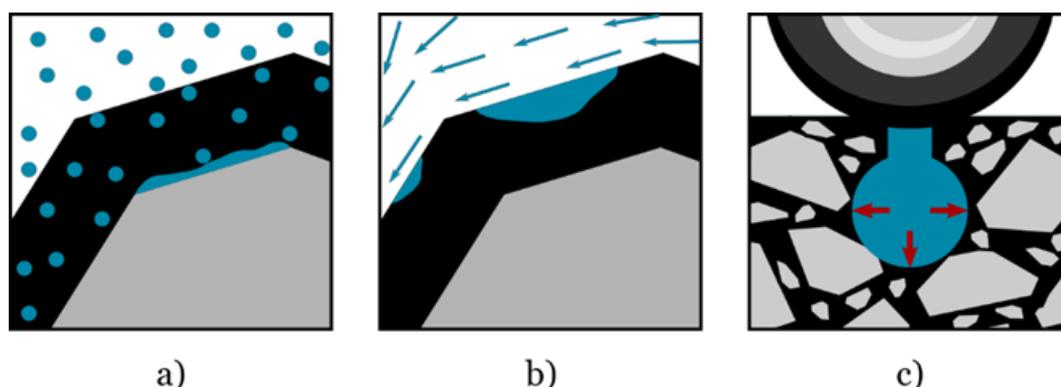


Figura 3
Ilustraciones de a) la difusión de la humedad hacia la interfaz, b) la erosión de las partículas de masilla, y c) la presión debida al tráfico

Fuente: (Varveri, Zhu, & Kringos, 2015)

2.2.1.3. Agrietamiento a baja temperatura

El agrietamiento a baja temperatura, también conocido como agrietamiento térmico, es comúnmente referido como una de las fuentes dominantes de angustia en los pavimentos de asfalto relacionados con las condiciones invernales (Das, Jelagin, & Birgisson, 2013). A medida que la temperatura del aire desciende, el asfalto comienza a contraerse. Esta contracción hace que surjan tensiones de tracción debido al confinamiento del pavimento en la dirección longitudinal del mismo. Una vez que las tensiones de tracción superan la resistencia a la tracción del asfalto, lo que puede ocurrir después de varios o incluso de un solo descenso de la temperatura, comenzará a formarse una grieta transversal al pavimento. Teniendo en cuenta que el cambio de temperatura y, por tanto, las tensiones térmicas son mayores en la superficie del pavimento, lo más habitual es que la grieta se forme allí y se propague después hacia abajo. Esta propagación puede acelerarse aún más por los continuos descensos de temperatura, así como por la

carga del tráfico. El mecanismo de agrietamiento a baja temperatura se ilustra en la figura 4.

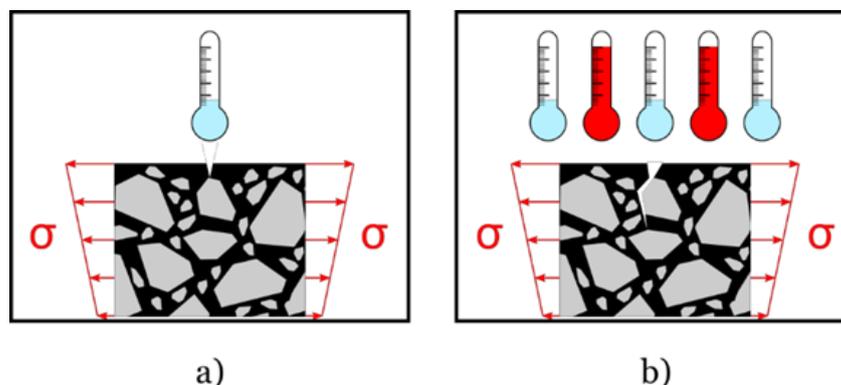


Figura 4
Ilustración del mecanismo de agrietamiento a baja temperatura.

Fuente: (Varveri, Zhu, & Kringos, 2015)

2.2.1.4. Daño por radiación solar (UV)

Bajo la influencia de la radiación solar (radiación IR y UV) y del oxígeno atmosférico en el concreto asfáltico, los procesos fisicoquímicos de evaporación de las fracciones volátiles, la oxipolimerización y la polioxicondensación de los componentes del betún proceden de forma irreversible, lo que conduce a la ruptura de los enlaces y a la formación de radicales libres. El ligante en la superficie de los granos del material mineral, en comparación con el ligante libre, es menos móvil, lo que reduce su reactividad y la intensidad del envejecimiento. (Iliopolov, Nikulin, & Sayenko, 2006)

Durante su construcción y vida útil, el concreto asfáltico irremediablemente está expuesto a la radiación ultravioleta (UV) y a la luz solar. Aun así, los sistemas actuales para el diseño y evaluación de pavimentos sólo tienen en cuenta una cantidad limitada del efecto de la radiación UV sobre el envejecimiento de pavimentos. Para determinar los efectos de la radiación UV sobre las propiedades de envejecimiento de los aglomerantes asfálticos modificados con SBS en un estudio, se efectuaron pruebas de envejecimiento UV en especímenes envejecidas utilizando la prueba de horno de película delgada rodante (RTFOT) para

ello se aplicó intensidades diferentes de radiación UV y tiempos de envejecimiento.

El efecto de envejecimiento de la radiación ultravioleta (UV) en el betún ha atraído cada vez más la atención de los investigadores, lo que ha dado lugar a la aparición de un nuevo método para simular el envejecimiento UV que se produce durante la vida útil del betún. Sin embargo, el grado de envejecimiento UV está estrechamente relacionado con el espesor del betún y el efecto de la radiación UV sobre la profundidad de envejecimiento no está claro.

2.2.1.5. Ensayo de pulverizada agua a presión

El ensayo de pulverizado de agua a presión se caracteriza por exponer a una briqueta de concreto asfáltico a la acción de chorros de agua a presión en un intervalo de tiempo, y visualizar y analizar los deterioros resultantes en la superficie. Esta es una prueba empírica creada por el antiguo Centro Nacional de Tecnología del Edificio.

Este ensayo se puede encontrar como ensayo de erosión acelerada, la cual fue analizada como ensayo de prueba por el Building Station, pudiendo observarse en la tabla 2 la información resaltante de los estudios realizados en sus documentos técnicos.

Tabla 2
Documentos técnicos de durabilidad

	Documentos técnicos					
	Bulletin 5	EBBA 2001	HB 195	IS 1725	NZS 4298	SLS 1382
Muestra	Entera	Entera	Entera	Entera	Entera	Entera
Cara de ensayo	Tabla	Tabla	Tabla	Tabla	Tabla	Cara puesta en obra
Nº de muestras	1	5	5	3	-	3
Zona expuesta (área - ø mm)	150	70 - 150	70 - 150	-	150	150
Tiempo de aplicación (min)	60	60	60	120	60	60
Observaciones cada (min)	15	15	15	-	15	15

Distancia de aplicación (mm)	470	470	470	180	470	500
Presión (Kpa)	0-50	0-50	0-50	147	0-50	50
Boquilla de salida (ø - mm)	-	-	-	100	153	-
Tasa de erosión (mm/min)	Si	Si	Si	No	Si	-
Sistema evaluación	Si	No	Si	Si	Si	Si
Máxima velocidad impacto (m/s)	-	-	-	6,5	-	-
Máxima intensidad lluvia (mm/h)	-	-	-	15-30	-	-
ø gota (mm)	-	-	-	2-4	-	-

Fuente: Norma 724 (SAZ 2001)

En varios casos estudiados, las investigaciones de los ensayos son las de zona expuesta, tiempo de aplicación, observaciones por minuto, distancia de aplicación, presión, diámetro de boquilla de salida de agua, tasa de erosión resultante, determinación de máxima velocidad de impacto y máxima intensidad lluvia.

Los tiempos de pulverizado propuestos son a una hora o hasta que la briqueta sea traspasada, el pulverizado será analizado a cada 15 minutos para analizar el deterioro. Al final, se empleará una varilla o regla chata con de 10 mm con el que se medirá la profundidad de los huecos resultantes en la briqueta, este valor se considerará como la hondura máxima, y dividido entre 60 minutos se obtendrá el valor del índice de erosión.

Tabla 3
Criterios de evaluación erosiva

Índice de erosión	Criterio (mm)	Resultado
1	$0 < D < 20$	Apto
2	$20 < D < 50$	Apto
3	$50 < D < 90$	Apto
4	$90 < D < 120$	Apto
5	$D > 120$	No Apto

Fuente: Norma NZS 4298

Los criterios de evaluación del trámite de ensayo modificación la distancia de aplicación del agua a 50 centímetros de distancia, y especificación que las perforaciones ocasionadas no deben sobrepasar 1 centímetro de hondura, como se observa en la figura 5.

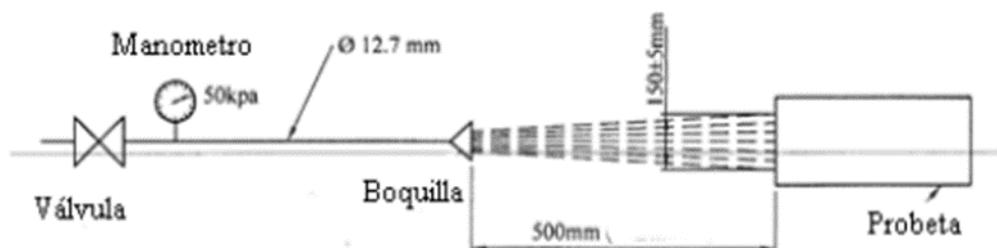


Figura 5
Ensayo durabilidad norma SLS 1382-2

2.2.2. Mezclas asfálticas densas

El porcentaje de vacíos de aire en una mezcla bituminosa de granulometría densa suele ser inferior a 8. Esto implica una resistencia satisfactoria a la penetración de agua y aire y, por lo tanto, una menor susceptibilidad a la acción de la intemperie en comparación con las mezclas de granulometría abierta. La necesidad de una máxima densificación en una mezcla ha sido reconocida por mucho tiempo por el ingeniero de diseño bituminoso. Sin embargo, la evaluación de los métodos utilizados para obtener la máxima densificación ha dado lugar a confusión y malentendidos. Se han realizado muchas investigaciones de gradación densa con el fin de obtener relaciones de resistencia de gradación para el hormigón de cemento portland. Gran parte de estos datos de prueba han proporcionado resultados que son aplicables a la clasificación de agregados para materiales bituminosos.

2.2.2.1. Métodos para la Obtención de Máxima Gradación de Densidad.

William Bo Fuller realizó pruebas en 1901 para evaluar los factores que afectan la resistencia y la densidad del hormigón de cemento Portland. Fuller concluyó que existe una gradación de agregados que proporciona

una alta resistencia al material. Los resultados de sus pruebas establecieron una curva de gradación con forma parabólica. Fuller y Thompson realizaron pruebas adicionales en 1904 utilizando combinaciones de piedra triturada, cribado, grava de bahía y mezclas de piedra triturada y arena con partículas de un tamaño máximo de 2,25 pulgadas de diámetro. Concluyeron a partir de estas pruebas que la curva de gradación ideal tendría una forma elíptica para la porción fina con una tangente a la porción elíptica que pasa por el tamaño máximo de partícula, como se muestra en la Figura 1b. Cabe señalar que la curva de Fuller-Thompson incluye cemento portland como parte de la mezcla de agregados.

El trabajo de Fuller y Thompson fue analizado por Campen, quien señaló que su trabajo no podía aplicarse fácilmente a la gradación de agregados bituminosos debido a los diferentes efectos del aglomerante bituminoso. (Edge, 1957)

2.2.2.2. Factores que afectan una mezcla bituminosa graduada densa

La gradación desempeña un papel fundamental en la evaluación final de una mezcla bituminosa. Una mezcla graduada densa produce valores de estabilidad más altos en comparación con mezclas graduadas abiertas que contienen los mismos materiales. Esto se debe principalmente a la mayor superficie de contacto que es un resultado directo de la gradación densa. Hay muchos factores que se ven afectados por la gradación, entre los más expresivos están la trabajabilidad, la permeabilidad, la estabilidad y la fricción interna (Hveem, 1949). La viscoelasticidad y la movilidad generalmente se agrupan bajo el título de trabajabilidad. Una mezcla que posee un alto porcentaje de asfalto y/o carga mineral no presenta un alto grado de trabajabilidad. El grado requerido depende de las condiciones de uso y tipo de equipo. El grado de permeabilidad depende casi por completo del tipo de gradación. Cuando es necesario proteger una subrasante vulnerable del agua superficial, se requiere una mezcla impermeable. Por el contrario, cuando una subrasante de plástico está saturada por la

humedad capilar, con frecuencia promoverá fallas debido a una acumulación excesiva de humedad. El grado adecuado de permeabilidad ayudará a mantener un estado de equilibrio en la subrasante. La estabilidad de una mezcla se define como la resistencia a la deformación bajo una carga sostenida. Esta estabilidad es una función de la fricción y la cohesión. Dentro de esta definición se infiere la importancia de la adhesión entre partículas. Cuanto más fuerte es el enlace entre las partículas, mayor es la estabilidad. Todas las partículas sólidas ofrecen resistencia al deslizamiento dependiendo de la textura de su superficie y la presión aplicada. Una reducción de los finos proporcionará el máximo contacto entre partículas en el agregado grueso, sin embargo, la cohesión está influenciada por la cantidad de finos en la mezcla y cualquier reducción en los finos provoca una pérdida de cohesión. Es evidente que debe tener lugar un compromiso entre las diversas propiedades con el fin de lograr los muchos requisitos en una mezcla bituminosa satisfactoria. (Hveem, 1949)

A. El contenido de cemento asfáltico (AC) cumple una doble función en una mezcla bituminosa. Como agente aglutinante, aumenta la cohesión entre las partículas separadas y, cuando se agrega en cantidades suficientes, ocupa una parte de los vacíos en la mezcla. Si la cantidad de asfalto está demasiado alta, al realizar una reducción en la cantidad de asfalto aumentará los vacíos, pero al mismo tiempo una disminución en el espesor de la película provocará una reducción en la durabilidad del pavimento (Hveem, 1949). Se debe tener cuidado de no reducir el contenido de asfalto a un valor que produzca una mezcla quebradiza de baja viscosidad. La influencia de la viscosidad del asfalto en la estabilidad ha sido reconocida por algún tiempo. Fink y Lettier encontraron que, para una mezcla particular de agregado y asfalto, la estabilidad era directamente proporcional al logaritmo de la viscosidad del asfalto utilizado. (Hudson & Vokac, 1962)

B. El cemento Portland, las cenizas volantes y el polvo de piedra caliza son materiales típicos que se utilizan como relleno mineral. Kallas,

Puzinauskas y Krieger intentaron evaluar los efectos de diferentes rellenos sobre las propiedades de las mezclas asfálticas para pavimentación. Los rellenos probados fueron tierra de Fuller, asbesto, cal hidratada, arcilla de caolín y polvo de piedra caliza. Los hallazgos de los resultados establecieron que la tierra de Fuller produjo la mayor estabilidad, mientras que la arcilla de caolín y el polvo de piedra caliza produjeron los valores de estabilidad más bajos. La trabajabilidad y competencia de las mezclas bituminosas depende de la cantidad y tipo de relleno utilizado. Si no se evalúa adecuadamente el efecto de un relleno mineral sobre las propiedades de una mezcla asfáltica para pavimentación, puede resultar en una mezcla insatisfactoria. Otras propiedades importantes de un relleno que tienen un efecto sobre su comportamiento son la repartición de la dimensión de las partículas. (Csanyi, 1962)

- C. El esfuerzo de compactación aplicado afecta directamente todas las propiedades físicas de una muestra. Un aumento en la energía de compactación reduce la cantidad de asfalto requerida para llenar los vacíos debido a la reducción de los zonas de vacíos que se suelen dar entre las partículas de agregado. Es imperativo reconocer que un pavimento de asfalto finalmente se consolida aún más bajo cargas de tráfico y, por lo tanto, el esfuerzo de compactación debe ser proporcionado para permitir esta compactación adicional, de lo contrario puede resultar en una condición plástica.

2.2.2.3. Factores a analizar en una mezcla bituminosa.

No se puede establecer un único factor como criterio para el análisis de una mezcla bituminosa. Los vacíos de aire, los vacíos en el agregado mineral (VMA), la densidad, la estabilidad y el flujo son propiedades de prueba que se han encontrado bastante consistentes en la evaluación de un diseño de mezcla bituminosa. Es necesario un rango limitado de vacíos de aire para asegurar que la mezcla no sea demasiado permeable al agua y al aire y, al mismo tiempo, proporcione suficiente

espacio para permitir una mayor densificación y expansión del aglutinante debido a las variaciones climáticas. El Instituto del Asfalto recomienda un rango entre el 3 y el 8 por ciento para una mezcla graduada densa (Asphalt Institute, 2020). Los valores específicos para una mezcla dependen de su uso, como capa superficial o capa base.

A. Porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas densas:

Los vacíos en el agregado mineral, en lo sucesivo denominados VMA, deben tener un valor mínimo establecido para un diseño de mezcla determinado. El VMA consiste en los vacíos de aire y el volumen de ligante bituminoso necesarios para proporcionar un pavimento duradero. Cualquier valor de VMA menor que el valor mínimo calculado causará una deficiencia en el ligante asfáltico o vacíos de aire. N. w. McCleod, consultor de ingeniería, Departamento de Transporte, Ottawa, Canadá, recomienda un valor mínimo de 15 por ciento para VMA para capas superficiales y 14 por ciento para capas base y de unión. Concluye que la selección de estos valores reduce el uso de límites de gradación restrictivos y amplía el rango de agregados aceptables, reduciendo así el costo de la mezcla bituminosa para pavimentación. (McLeod, 1956)

B. Densidad en mezclas asfálticas densas:

Cuando se mantienen un esfuerzo de compactación y una gradación constantes, la densidad depende principalmente del cambio en el contenido de asfalto. Los valores de alta densidad ayudan a proteger contra la penetración de agua y aire. Sin embargo, los agregados que proporcionan un VMA alto indican que se requiere una gran cantidad de ligante asfáltico para mantener valores de densidad altos y esta condición puede resultar en una mezcla impracticable. El procedimiento apropiado para lograr mezclas de alta densidad es reducir el VMA dentro de los límites previamente discutidos ajustando la granulometría del agregado.

C. Estabilidad en mezclas asfálticas densas:

La estabilidad se ha definido anteriormente como la resistencia a la deformación bajo carga. Dado que la fricción entre partículas es una parte esencial de la estabilidad, se puede concluir que a medida que se reduce el VMA (o aumenta la densidad), los valores de estabilidad aumentarán. Los agregados triturados producen valores de estabilidad más altos que los agregados no triturados. Esto resulta de un mejor enclavamiento por fricción entre los agregados. (Wedding & Gaynor, 1961)

D. Flujo en mezclas asfálticas densas:

El valor de flujo es un índice de la deformación y es una medida de la resistencia del pavimento a la distorsión bajo cargas aplicadas. Otros factores que permanecen constantes, la cantidad de asfalto en los vacíos es el factor principal que afecta el flujo. A medida que aumenta el contenido de ligante asfáltico, aumentan los valores de flujo, y si la gradación del agregado contiene grandes cantidades de relleno mineral (10-15 por ciento), los valores de flujo aumentan rápidamente.

2.3. Definición de Términos Básicos

- Intemperismo

desintegración o alteración de la roca en su ubicación natural u original sobre la superficie de la tierra , o cerca de ella, mediante procesos físicos, químicos y biológicos provocados o afectados por el viento, el agua y el clima. El material que ha sido alterado o degradado durante el proceso de intemperización se mueve cerca de donde la roca ha quedado expuesta, pero la roca misma permanece en su lugar.

- Humedad.

Uno de los principales factores que contribuyen a la degradación de los pavimentos de mezcla de asfalto en agua es la susceptibilidad a la humedad. La penetración de humedad en la mezcla no debería provocar que

ésta se deteriore significativamente. Dado que el enlace interno entre el ligante asfáltico y el material seco se debilita en presencia de agua, se puede pensar que las mezclas asfálticas sometidas a altas temperaturas son susceptibles a la humedad. Un desprendimiento puede ser resultado de esta discapacidad si es lo suficientemente.

- Erosión

La erosión es el desgaste de la superficie del terreno por la lluvia o el agua de riego, el viento, el hielo u otros agentes naturales o antropogénicos que desgastan, desprenden y eliminan el suelo de un punto de la superficie terrestre y lo depositan en otro lugar.

- Radiación solar

El término genérico para la radiación electromagnética que emite el sol se llama radiación solar, conocida frecuentemente como recurso solar o simplemente luz solar. Mediante el uso de diversas tecnologías, la radiación solar puede capturarse y convertirse en formas útiles de energía como calor y electricidad. Sin embargo, la viabilidad técnica y viabilidad económica de estas tecnologías depende de la cantidad de energía solar disponible en un lugar determinado. Estas tecnologías, sin embargo, dependen de la cantidad de energía solar que esté disponible en un lugar determinado.

- Envejecimiento

Se define generalmente como el cambio en las propiedades reológicas de los ligantes/mezclas asfálticas debido a los cambios en la composición química durante la construcción y su periodo de vida útil. El envejecimiento hace que el material asfáltico se endurezca y se vuelva frágil, lo que afecta a la durabilidad y conduce a un alto potencial de agrietamiento.

- Mezcla asfáltica

La mezcla asfáltica es un material típicamente sensible a la temperatura; por lo general, los cambios de temperatura son sensibles a la temperatura y tendrán un impacto dramático tanto en las características mecánicas como en el rendimiento operativo del material. En condiciones de temperatura, la mezcla amorfa se comportará de manera diferente. Como resultado de la

alta temperatura, tanto la adhesión entre los áridos como la viscosidad del ligante disminuirán dramáticamente.

- Mezcla asfáltica densa

El asfalto denso es una mezcla graduada continua de agregados gruesos y finos, relleno mineral y betún. Se suministra, se coloca y se compacta en caliente. Los asfaltos de grado denso se utilizan generalmente para carreteras, vías principales, industriales y de distribución, ya que requieren un grado de asfalto más denso para compensar la mayor carga de tráfico.

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 la presente 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 de Investigación

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 el intemperismo estacional local y las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica densa, contrastando el efecto del daño por humedad y por radiación solar a las mezclas diseñadas.

3.1.3. Tipo de Investigación

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 para determinar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas densas para determinar el grado de daño por intemperismo mediante los análisis de daño por humedad y daño por radiación solar en la mezcla.

3.2. Diseño de la investigación

Según (Gomez Bastar, 2012), el diseño de investigación cuasiexperimental es una investigación en la que se asigna un grupo de control y un grupo de tratamiento. El grupo de tratamiento es el grupo experimental y el grupo de control, el cual no recibe ningún tratamiento.

La presente investigación pretende aplicar el diseño cuasiexperimental para determinar cómo la modificación o intervención en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas densas afectan de manera previsible el nivel de intemperismo estacional local en un corto y largo plazo de envejecimiento a radiación solar y daño por humedad que se presentan en la localidad.

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. Se plantea para presente investigación una población de 300 kilogramos de mezcla asfáltica en caliente producida por una planta pequeña de laboratorio para elaboración de mezcla asfáltica en caliente de acuerdo a los requerimientos normativos Marshall.

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 una total de 95 briquetas de mezcla asfáltica en caliente que se compondrá de 18 briquetas de muestras patrón y 77 briquetas de muestras experimentales que serán sometidas al daño inducido por el intemperismo.

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 longitudinal, ya que se plantea realizar un análisis establecido sobre el daño del intemperismo estacional local mediante media mensuales reportadas en la localidad.

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 para analizar el daño que ejerce el intemperismo sobre la mezcla asfáltica en caliente (MAC), con la finalidad de determinar un alteramiento sobre las propiedades mecánicas que lo caracteriza, del cual se manifestaran todos los resultados en certificados de laboratorio firmado por personal calificado.

3.5. Instrumento de análisis de datos

En el presente estudio, como instrumento de análisis de datos, se emplearán fichas de registro emanadas de ensayos de laboratorio necesarios para evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente sometidas a un daño inducido por el intemperismo (daño por humedad y daño por radiación solar), además de determinar un ciclo de vida anual sobre las características estacionales de la localidad.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estimación de radiación solar

Una de las entradas de energía más importantes es la radiación solar, y para la evolución de la investigación es fundamental conocer, con la mayor precisión posible, la cantidad y distribución de la radiación solar que incide en un lugar determinado, así como su importantes es la radiación solar, y para la evolución de la investigación es fundamental conocer, con la mayor precisión posible, la cantidad y distribución de la radiación solar que incide en un lugar determinado, como como su variación van escala diaria, mensual y anual.

Por ello se recurre al empleo de modelos empíricos de recursos solares, siendo el recomendable para Perú el modelo Bristow-Campbell, siendo la zona de estudio en la que se aplicó este modelo en la región Junín.

Para determinar la radiación solar diaria mensual, se empleó la información registrada en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y mediante el modelo Bristow-Campbell se obtuvieron los resultados de radiación solar en unidad de kWh/m²/día, presentados en la siguiente tabla 4.

Tabla 4
Valores de la radiación solar (kWh/m²/día) en la región Junín

MES	Radiación global (H _o)	Radiación solar promedio diario (H)	H/H _o	Radiación solar directa promedio diario (H _b)	H _b /H	Radiación solar difusa (H _d)
Enero	5.84	2.87	0.49	1.69	0.59	1.17
Febrero	5.41	2.67	0.49	1.58	0.59	1.09
Marzo	5.35	2.15	0.40	1.08	0.50	1.07
Abril	5.44	2.08	0.38	1.00	0.48	1.08

Mayo	4.99	1.83	0.37	0.85	0.47	0.98
Junio	5.05	1.83	0.36	0.85	0.46	0.98
Julio	5.32	2.02	0.38	0.97	0.48	1.05
Agosto	5.43	2.12	0.39	1.04	0.49	1.08
Setiembre	5.67	2.22	0.39	1.09	0.49	1.13
Octubre	5.92	2.29	0.39	1.11	0.49	1.18
Noviembre	6.02	2.48	0.41	1.27	0.51	1.21
Diciembre	6.06	2.73	0.45	1.50	0.55	1.23
Anual	5.54	2.27	0.41	1.17	0.51	1.10

Fuente: Elaboración propia

En relación al efecto de la radiación solar en la capa de rodadura, se encontró que la mezcla asfáltica envejece y exhibe modificaciones en sus propiedades al encontrarse expuesta a esta radiación. Por lo que se analiza la radiación ultravioleta en la región Junín obtenida por el método Bristow-Campbell para encontrar la radiación promedio y así con la radiación de una lámpara para la simulación de radiación solar, determinar las intensidades promedio, para finalmente encontrar la equivalencia del tiempo de simulación para someter a radiación ultravioleta la mezcla asfáltica diseñada.

La intensidad resultante de la radiación promedio en la región Junín es de 231 W/m² y la del laboratorio es de 18 W/m². Con estos datos se aplica la ecuación presentada en el ítem (1) con el que se halla la intensidad de radiación, la ecuación presentada en el ítem (2) con la que se determina la relación entre las intensidades de radiación, y la ecuación presentada en el ítem (3) con la que se determinan los tiempos de exposición por radiación solar y la necesaria en laboratorio.

(1) Intensidad de radiación:

$$I_i = \frac{E_i}{t_i A_i}$$

- I_i = Intensidad
- E_i = Energía de radiación
- A_i = Área de radiación
- t_i = Tiempo de exposición

(2) Relación entre intensidades:

$$I_L = 0.0779 I_J$$

- I_L = Intensidad en laboratorio
- I_J = Intensidad de la región Junín

(3) Tiempos de exposición:

Por equivalencia:

$$\frac{E_L}{t_L A_L} = 0.0779 \frac{E_B}{t_B A_B} \rightarrow t_B = 0.0779 \frac{E_J t_L}{E_L}$$

Hallando la energía para un fotón con la expresión:

$$E = \frac{h c}{\lambda}$$

- E = Energía
- h = Constante de Planck = 6.626×10^{-34} Js
- c = Velocidad de la luz
- λ = Longitud de onda

Resolviendo la ecuación (3) y empleando la expresión de energía para un fotón:

$$t_J = 52.03 t_L$$

- t_L = Tiempo de exposición en laboratorio
- t_J = Tiempo de exposición en Junín

Tras el análisis de los niveles de radiación y las equivalencias realizadas, se determinó que se emplearán lámparas en el laboratorio de 18 W, que emiten una irradiancia de $3,600 \mu\text{W}/\text{m}^2$ y una longitud de onda de $0.30 \mu\text{m}$ y serán colocadas a 50 cm de las muestras.

Para la presente tesis de investigación, se trazaron cuatro periodos de exposición, optando por 45, 90, 135 y 180 horas de exposición mediante lámparas en el laboratorio, las cuáles equivalen a 3 meses, 6 meses y medio, 9 meses y medio y 13 meses de exposición a radiación ultravioleta.

4.2. Estimación de precipitación

Para realizar el ensayo de pulverizado con agua a presión, es necesario tener el registro de las precipitaciones en la región Junín, por lo que mediante el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) se registraron los valores de precipitación en el último año que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5
Valores de la precipitación (mm/día) en la región Junín

MES	Precipitación (mm/día)
Enero	4.08
Febrero	5.60
Marzo	3.82
Abril	2.31
Mayo	0.56
Junio	0.11
Julio	0.48
Agosto	0.63
Setiembre	0.96
Octubre	1.70
Noviembre	2.32
Diciembre	1.68
Anual	2.02

Fuente: Elaboración propia

4.3. Presentación de materiales

4.3.1. Material granular

Se deberá caracterizar los agregados para elaborar una mezcla asfáltica densa diseñada mediante el método Marshall, con el fin de elaborar briquetas que serán sometidas a envejecimiento por radiación ultravioleta y también sometidas a pérdida por ensayo de Cántabro.

El diseño por Marshall será realizado por el tipo de mezcla MAC 2, en la que se requiere emplear arena chancada, arena zarandeada y piedra chancada de tamaño nominal 1/2". Los materiales serán obtenidos de la

cantera de Matahuasi, ubicada en la provincia de Concepción en la región Junín, la cual extrae agregados naturales del río Mantaro y los procesa en su planta chancadora. Este material necesario y su fuente se presentan en la tabla 6.

Tabla 6
Fuente de agregados - cantera de Matahuasi

Agregados	Cantera
Piedra chancada de ½”	Planta chancadora de Matahuasi
Arena zarandeada	Río Mantaro – Matahuasi
Arena chancada	Planta chancadora de Matahuasi

Fuente: Elaboración propia

La planta chancadora de Matahuasi esta ubicada en la provincia de Concepción (al norte de Huancayo), se presenta figura 6, donde también se observa parte del valle de Mantaro, se aprecia también el río Mantaro del que se obtuvo los agregados para las mezclas asfálticas por MAC 2.



Figura 6
Cantera de Matahuasi de materiales granulares

Fuente: Google Earth (2022)

4.3.1.1. Análisis granulométrico

En la siguiente sección, se presentan los resultados del ensayo de análisis granulométrico mediante tamizado manual que se realizó a la

arena chancada, arena zarandeada y piedra chancada de tamaño nominal 1/2" provenientes de la cantera de Matahuasi, siendo estos resultados importantes para el planteamiento de la combinación teórica de agregados por MAC 2.

a) Piedra chancada de 1/2":

El análisis granulométrico resultante para la muestra de 3000 gramos de piedra chancada de 1/2" se presenta en la tabla 7, donde se puede observar un bajo porcentaje de finos y que el agregado presenta un tamaño nominal de 1/2".

*Tabla 7
Granulometría de piedra chancada de 1/2"*

Cantera:		Matahuasi			
Peso de muestra		3000	gr		
Malla	Peso	Ret. Parcial	Ret. Acumulado	Pasante	
Tamiz	mm	(gr)	(%)	(%)	(%)
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	734.10	24.47	24.47	75.53
3/8"	9.525	811.80	27.06	51.53	48.47
No4	4.763	870.60	29.02	80.55	19.45
No8	2.381	272.10	9.07	89.62	10.38
No10	1.905	141.30	4.71	94.33	5.67
No16	1.191	105.00	3.50	97.83	2.17
No30	0.595	21.90	0.73	98.56	1.44
No40	0.423	15.60	0.52	99.08	0.92
No50	0.298	10.50	0.35	99.43	0.57
No80	0.179	10.20	0.34	99.77	0.23
No100	0.149	2.70	0.09	99.86	0.14
No200	0.074	1.50	0.05	99.91	0.09
<N°200		2.70	0.09	100.00	0.00
Sumatoria Total		3000.00			

Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica que resulta del análisis granulométrico para la piedra chancada de 1/2" se presenta en la figura 7, en la que se puede interpretar que existe una alta presencia de agregado grueso que

representa más del 70% del total de la muestra y una baja presencia de agregado fino de menos del 1%.

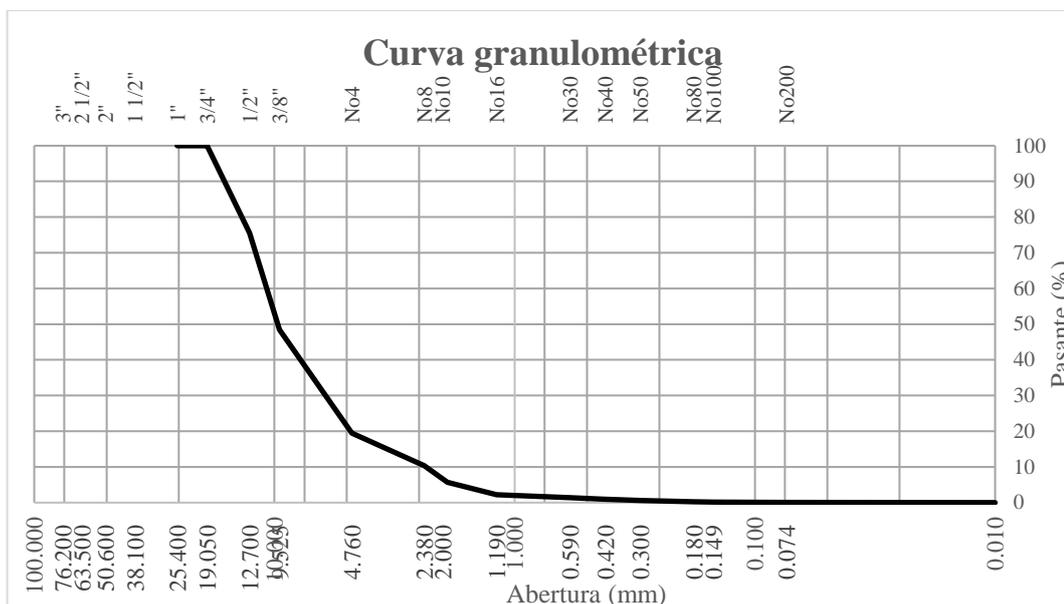


Figura 7
Curva granulométrica para Piedra chancada de 1/2"

Fuente: Elaboración propia

b) Arena zarandeada

El análisis granulométrico resultante para la muestra de 1500 gramos de arena zarandeada se presenta en la tabla 8, donde se puede observar un alto porcentaje de finos y que el agregado presenta un tamaño nominal en N°4.

Tabla 8
Granulometría de arena zarandeada

Cantera:		Matahuasi			
Peso de muestra		1500	gr		
Malla	Peso	Ret. Parcial	Ret. Acumulado	Pasante	
Tamiz	mm	(gr)	(%)	(%)	(%)
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	4.763	196.05	13.07	13.07	86.93
No8	2.381	130.65	8.71	21.78	78.22
No10	1.905	229.00	15.27	37.05	62.95

No16	1.191	153.90	10.26	47.31	52.69
No30	0.595	139.80	9.32	56.63	43.37
No40	0.423	157.10	10.47	67.10	32.90
No50	0.298	117.60	7.84	74.94	25.06
No80	0.179	129.65	8.64	83.58	16.42
No100	0.149	99.85	6.66	90.24	9.76
No200	0.074	83.60	5.57	95.81	4.19
<N°200		62.80	4.19	100.00	0.00
Sumatoria Total		1500.00			

Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica que resulta del análisis granulométrico para la arena zarandeada se presenta en la figura 8, en la que se interpreta que existe una baja presencia de agregado grueso que representa el 22% del total de la muestra, y una alta presencia de agregado fino de 78%.

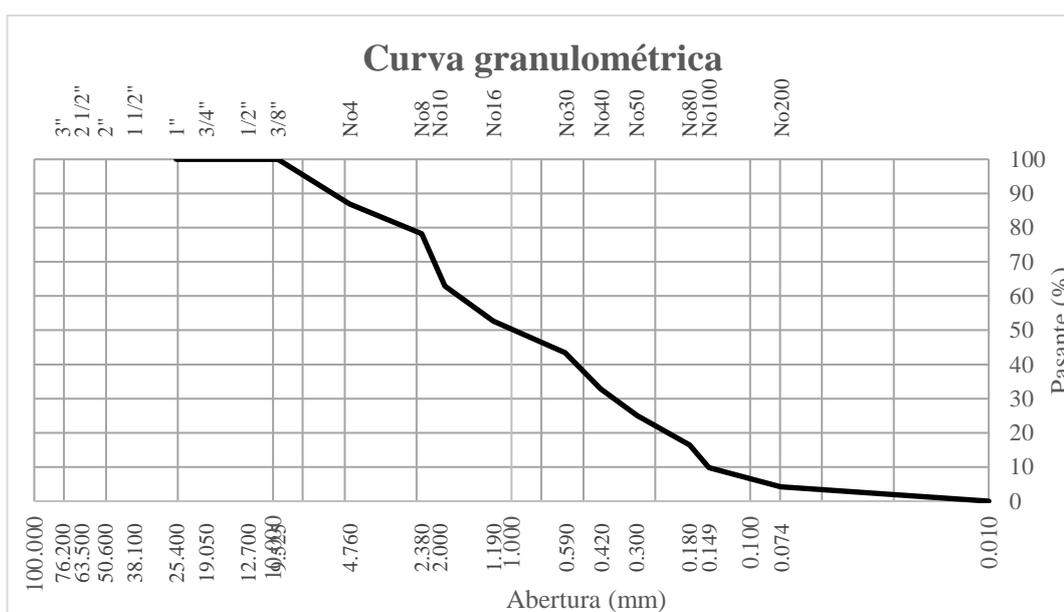


Figura 8
Curva granulométrica para arena zarandeada

Fuente: Elaboración propia

c) Arena chancada

El análisis granulométrico resultante para la muestra de 1500 gramos de arena chancada se presenta en la tabla 9, donde se puede observar un

alto porcentaje de finos y que el agregado presenta un tamaño nominal en N°4.

*Tabla 9
Granulometría de arena chancada*

Cantera:		Matahuasi			
Peso de muestra		1500	gr		
Malla	Peso	Ret. Parcial	Ret. Acumulado	Pasante	
Tamiz	mm	(gr)	(%)	(%)	(%)
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	4.763	158.85	10.59	10.59	89.41
No8	2.381	160.95	10.73	21.32	78.68
No10	1.905	173.70	11.58	32.90	67.10
No16	1.191	164.10	10.94	43.84	56.16
No30	0.595	169.50	11.30	55.14	44.86
No40	0.423	187.15	12.48	67.62	32.38
No50	0.298	128.10	8.54	76.16	23.84
No80	0.179	108.15	7.21	83.37	16.63
No100	0.149	95.90	6.39	89.76	10.24
No200	0.074	78.15	5.21	94.97	5.03
<N°200		75.45	5.03	100.00	0.00
Sumatoria Total		1500.00			

Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica que resulta del análisis granulométrico para la arena chancada se presenta en la figura 9, en la que se interpreta que existe una baja presencia de agregado grueso que representa el 21% del total de la muestra, y una alta presencia de agregado fino de 79%.

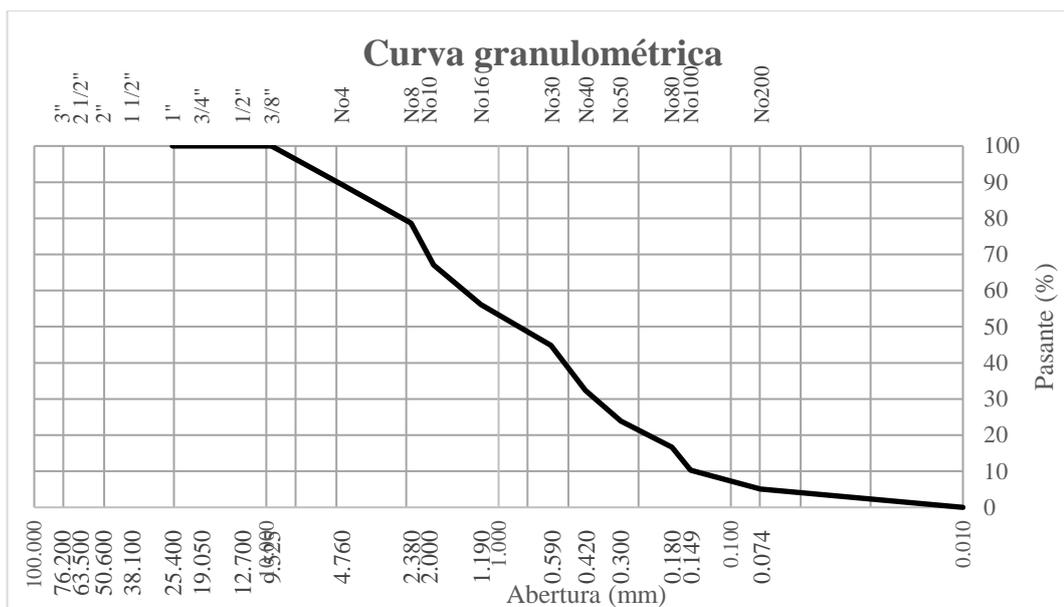


Figura 9
 Curva granulométrica para arena chancada
 Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Cemento asfáltico

Para el desarrollo de la investigación se optó por emplear cemento asfáltico de PEN 85-100, ya que este es el tipo de cemento asfáltico recomendado según las especificaciones técnicas del MTC-14. En la tabla 10 se presentan las distintas penetraciones de cemento asfáltico recomendadas según la temperatura de la zona donde se elaborará la mezcla asfáltica densa.

Tabla 10
 Tipo de ligante asfáltico

Temperatura media anual	Tipo de cemento asfáltico
< 5°C	Cemento asfáltico modificado
5°C -15°C	PEN 85/100 - PEN 120/150
15°C - 24°C	PEN 60/70
> 24°C	PEN 40/50 - PEN 60/70 - Cemento modificado

Fuente: Tabla extraída del MTC-14

Las propiedades del cemento asfáltico de pen 85-100, la cual se registró en la ficha técnica de cementos asfálticos de distintas penetraciones según la empresa Petro Perú se presenta en la tabla 11.

*Tabla 11
Ficha Técnica del cemento asfáltico PEN 85/100*

Propiedades	Norma	PEN 85 / 100	
		mín.	máx.
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 0.1 mm	MTC E 304	85	100
Punto de inflamación, °C	ASTM D-92	230	
Punto inicial de ebullición, °C	ASTM D-92	470	
Temperatura de autoinflamación, °C	ASTM D-92	300	
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99.0	
Índice de penetración (Susceptibilidad Térmica)	MTC E 304	-1	+1
Densidad, g/cm ³	ASTM D-70	1.00	1.05
Ensayo de punto de ablandamiento °C	ASTM D-36		60
Viscosidad cinemática a 135 °C, cSt	ASTM D-2170		170

Fuente: Ficha Técnica Petro Perú S.A.

4.3.3. Filler

Para la elaboración de la mezcla asfáltica densa por MAC 2, se plantea emplear cal hidratada como filler, debido a que no se modificará o alterará la mezcla para mejorar alguna propiedad en específico.

El análisis granulométrico resultante para la muestra de 250 gramos de cal hidratada se presenta en la tabla 12, donde se puede observar que presenta un tamaño de partículas constante.

*Tabla 12
Granulometría de cal hidratada*

Peso de muestra		250 gr			
Malla	Peso	Ret. Parcial	Ret. Acumulado	Pasante	
Tamiz	mm	(gr)	(%)	(%)	(%)
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	4.763	0.00	0.00	0.00	100.00
No8	2.381	0.00	0.00	0.00	100.00
No10	1.905	0.00	0.00	0.00	100.00

No16	1.191	0.00	0.00	0.00	100.00
No30	0.595	0.00	0.00	0.00	100.00
No40	0.423	0.00	0.00	0.00	100.00
No50	0.298	0.00	0.00	0.00	100.00
No80	0.179	0.00	0.00	0.00	100.00
No100	0.149	0.00	0.00	0.00	100.00
No200	0.074	0.00	0.00	0.00	100.00
<N°200		250.00	100.00	100.00	0.00
Sumatoria Total		250.00			

Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica que resulta del análisis granulométrico para la cal hidratada se presenta en la figura 10, en la que se puede interpretar que la cal hidratada es fina.

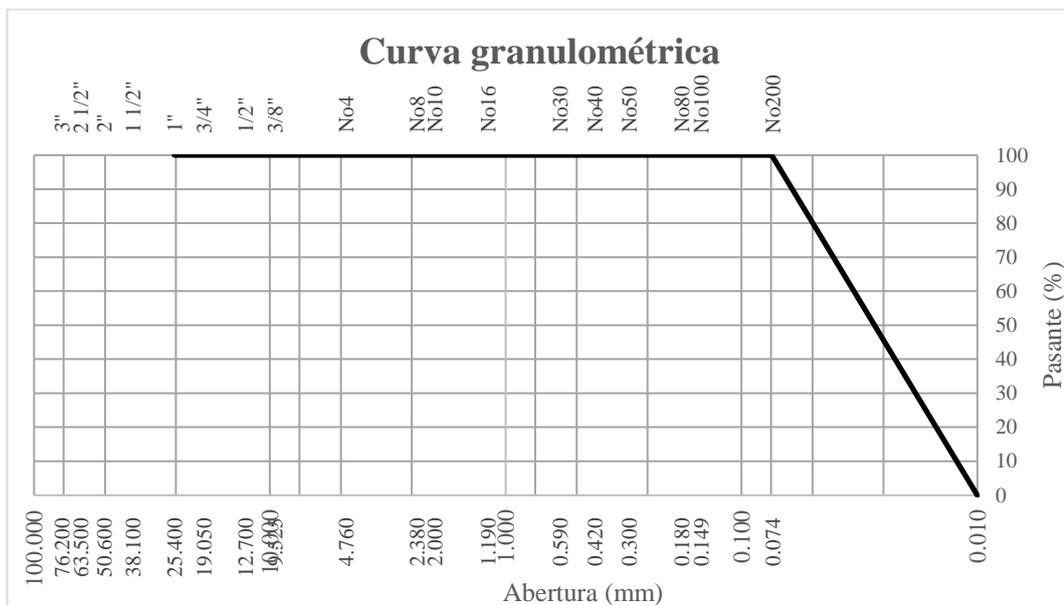


Figura 10
Curva granulométrica para cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

4.4. Combinación y diseño de mezcla

A continuación, se presenta el diseño de la mezcla asfáltica densa mediante la aplicación de la normativa Marshall, por lo que se planteó realizar la mezcla por MAC 2 y sus porcentajes máximos y mínimos especificados por cada malla se presentan en la tabla 13.

Tabla 13
Gradación MAC 2 para mezclas asfálticas densas

Malla (pulg.)	Porcentaje que pasa
	MAC 2
1"	
3/4"	100
1/2"	80 - 100
3/8"	70 - 88
N°4	51 - 68
N°10	38 - 52
N°40	17 - 28
N°80	8 - 17
N°200	4 - 8

Fuente: (Especificaciones Técnicas, 2013)

Para cumplir con los requerimientos de la gradación MAC 2 para la elaboración de la mezcla asfáltica densa, se variaron los porcentajes a emplear de piedras y arenas a emplear, por lo que para llegar al 100% de la mezcla de agregados se empleará el 33% de Arena zarandeada, 31% de arena chancada, 35% de piedra chancada de 1/2" y 1% de cal hidratada. En la siguiente tabla 14 se presentan los porcentajes resultantes para después verificar los porcentajes máximos y mínimos de la gradación MAC 2.

Tabla 14
Porcentajes en mezcla de agregados de gradación MAC 2

Malla		PIEDRAS		ARENAS	
Tamiz	Mm	Piedra	Arena zarandeada	Arena chancada	Cal hidratada
Porcentajes		1/2"	ZARANDEADA	CHANCADA	FILLER
		35.0%	33.0%	31.0%	1.0%
tmz - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00
tmz - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00
tmz - 1/2"	12.700	75.53	100.00	100.00	100.00
tmz - 3/8"	9.525	48.47	100.00	100.00	100.00
tmz - N° 4	4.750	19.45	86.93	89.41	100.00
tmz - N° 8	2.550	10.38	78.22	78.68	100.00
tmz - N° 10	2.000	5.67	62.95	67.10	100.00
tmz - N° 16	1.185	2.17	52.69	56.16	100.00
tmz - N° 30	0.600	1.44	43.37	44.86	100.00
tmz - N° 40	0.425	0.92	32.90	32.38	100.00
tmz - N° 50	0.295	0.57	25.06	23.84	100.00
tmz - N° 80	0.175	0.23	16.42	16.63	100.00
tmz - N° 100	0.148	0.14	9.76	10.24	100.00

tmz - N° 200	0.072	0.09	4.19	5.03	100.00
< tmz - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tras aplicar los porcentajes de piedra y arena resultantes, se presenta en la tabla 15 los resultados para la mezcla de agregados y se verifica que se encuentre dentro de los límites de la gradación MAC 2. Además, se observa que sus valores se encuentran cercanos a la curva ideal.

*Tabla 15
Porcentajes de la mezcla de agregados MAC 2*

Malla		MEZCLA	ESPECIFICACIONES			Tamaño máximo
Tamiz	mm		MAC2			1/2"
Porcentajes		100.0%	MTC			Curva Ideal
tmz - 1"	25.405	100.0	100	-	100	100
tmz - 3/4"	19.055	100.0	100	-	100	100
tmz - 1/2"	12.700	91.4	80	-	100	90
tmz - 3/8"	9.525	82.0	70	-	88	79
tmz - N° 4	4.750	64.2	51	-	68	60
tmz - N° 8	2.550	54.8				
tmz - N° 10	2.000	44.6	38	-	52	45
tmz - N° 16	1.185	36.6				
tmz - N° 30	0.600	29.7				
tmz - N° 40	0.425	22.2	17	-	28	23
tmz - N° 50	0.295	16.9				
tmz - N° 80	0.175	11.7	8	-	17	13
tmz - N° 100	0.148	7.4				
tmz - N° 200	0.072	4.0	4	-	8	6
< tmz - N°200		0.0				

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11, se presenta las curvas granulométricas resultantes para la mezcla de agregados, representada con una línea roja, la curva del mínimo porcentaje permitido, representada con una línea punteada mostaza, la curva del máximo porcentaje permitido, representada con una línea punteada verde, y la curva ideal representada con una línea punteada naranja. Además, se puede observar que la curva de la mezcla por MAC 2 cumple con encontrarse dentro de los límites y con ser cercana a la curva ideal.

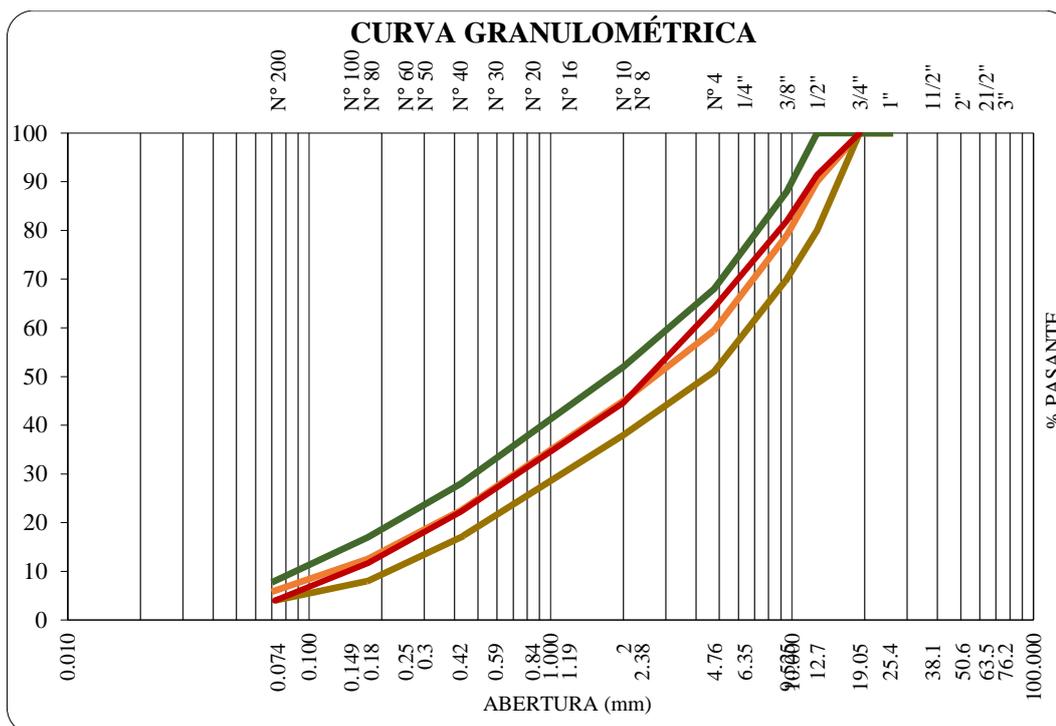


Figura 11
Curva de mezcla de agregados – Muestra control
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16, se presenta la combinación teórica resultante por MAC 2 para la elaboración de la mezcla asfáltica densa. Cabe mencionar que la combinación se planteó para realizar un diseño variando el porcentaje de cemento asfáltico en 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%, para así poder analizar las propiedades de las briquetas resultantes y determinar el óptimo porcentaje de cemento asfáltico.

Tabla 16
Combinación teórica por porcentaje de cemento asfáltico – Muestra control

% Cemento Asfáltico	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
TAMIZ	PESO (gr) – Cal hidratada					
tmz - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tmz - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tmz - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tmz - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
SUB-TOTAL	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
TAMIZ	PESO (gr) – Arena chancada					
tmz - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tmz - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tmz - N°4	39.4	39.2	39.0	38.8	38.6	38.4

tmz - N°10	83.0	82.6	82.1	81.7	81.3	80.8
< N°10	249.6	248.3	247.0	245.7	244.4	243.1
SUB-TOTAL	372.0	370.1	368.1	366.2	364.3	362.3
TAMIZ	PESO (gr) – Arena zarandeada					
tmz - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tmz - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tmz - N°4	51.8	51.5	51.2	50.9	50.7	50.4
tmz - N°10	94.9	94.5	94.0	93.5	93.0	92.5
< N°10	249.3	248.0	246.7	245.4	244.1	242.8
SUB-TOTAL	396.0	393.9	391.9	389.8	387.8	385.7
TAMIZ	PESO (gr) – Piedra chancada de 1/2"					
tmz - 1/2"	102.8	102.2	101.7	101.2	100.6	100.1
tmz - 3/8"	113.7	113.1	112.5	111.9	111.3	110.7
tmz - N°4	121.9	121.2	120.6	120.0	119.3	118.7
tmz - N°10	57.9	57.6	57.3	57.0	56.7	56.4
< N°10	23.8	23.7	23.6	23.4	23.3	23.2
SUB-TOTAL	420.0	417.8	415.6	413.4	411.3	409.1
TOTAL, AGREG. (gr)	1200.00	1193.75	1187.50	1181.25	1175.00	1168.75
PEN 85/100 (gr)	50.00	56.25	62.50	68.75	75.00	81.25
TOTAL (gr)	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00

Fuente: Elaboración propia

4.4.1. Propiedades mecánicas de muestras – OE1

En el presente apartado, se abarcan los resultados del ensayo de Marshall realizado a las briquetas elaboradas al variar el porcentaje de cemento asfáltico y no serán sometidas a envejecimiento por radiación ultravioleta. En la tabla 17, se presentan los resultados de los ensayos de peso específico y ensayo de Marshall de las briquetas diseñadas al adicionar el 4% y 4.5% de cemento asfáltico (c.a.).

Tabla 17

Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica densa al 4% y 4.5% de c.a.

Ítem	BRIQUETAS	und	1°	2°	3°	4°	5°	6°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	33.60	33.60	33.60	33.43	33.43	33.43
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	61.44	61.44	61.44	61.12	61.12	61.12
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm ³	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm ³	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604

7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm ³	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm ³	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1249.8	1250.8	1249.3	1251.1	1250.6	1249.8
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1257.6	1258.9	1258.2	1258.6	1256.7	1257.8
11	Peso de la briqueta en agua	gr	725.5	723.9	724.7	723.5	722.4	722.3
12	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	532.1	535.0	533.5	535.1	534.3	535.5
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	2.349	2.338	2.342	2.338	2.341	2.334
14	Peso específico máximo	gr/cm ³	2.481	2.481	2.481	2.460	2.460	2.460
15	Vacíos	%	5.33	5.77	5.61	4.96	4.85	5.13
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631
17	Vacíos de agregado mineral	%	14.30	14.69	14.55	15.13	15.04	15.28
18	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	62.73	60.75	61.42	67.24	67.73	66.46
19	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.638	2.638	2.638	2.635	2.635	2.635
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.110	0.110	0.110	0.064	0.064	0.064
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3.90	3.90	3.90	4.44	4.44	4.44
22	Flujo	mm	1.61	1.48	1.39	1.87	1.77	2.12
23	Estabilidad sin corregir (Según carta de calibración)	kg	821.3	842.0	851.3	956.7	941.5	968.0
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
26	Estabilidad corregida	kg	821	842	851	957	942	968
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	5101	5689	6124	5116	5319	4566
28	Compactación, numero de golpes por cara			75 golp.			75 golp.	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18, se presentan los resultados de los ensayos de peso específico y ensayo de Marshall de las briquetas diseñadas al adicionar el 5% y 5.5% de cemento asfáltico (c.a.).

Tabla 18

Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica densa al 5% y 5.5% de c.a.

Ítem	BRIQUETAS	und	7°	8°	9°	10°	11°	12°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50

2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	33.25	33.25	33.25	33.08	33.08	33.08
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	60.80	60.80	60.80	60.48	60.48	60.48
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm ³	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm ³	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm ³	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm ³	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1247.7	1248.5	1250.0	1251.5	1250.7	1248.6
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1258.1	1257.7	1258.4	1259.1	1258.5	1255.6
11	Peso de la briqueta en agua	gr	723.1	723.5	721.3	719.5	718.4	718.3
12	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	535.0	534.2	537.1	539.6	540.1	537.3
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	2.332	2.337	2.327	2.319	2.316	2.324
14	Peso específico máximo	gr/cm ³	2.441	2.441	2.441	2.416	2.416	2.416
15	Vacíos	%	4.46	4.25	4.66	4.00	4.15	3.81
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631
17	Vacíos de agregado mineral	%	15.79	15.61	15.96	16.69	16.82	16.53
18	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	71.76	72.74	70.83	76.03	75.32	76.93
19	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.634	2.634	2.634	2.625	2.625	2.625
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.047	0.047	0.047	-0.086	-0.086	-0.086
21	Cemento asfáltico efectivo	%	4.96	4.96	4.96	5.58	5.58	5.58
22	Flujo	mm	2.37	2.52	2.61	2.98	3.11	2.82
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	1026.2	1013.9	1040.1	1045.5	1061.3	1036.8
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
26	Estabilidad corregida	kg	1026	1014	1040	1046	1061	1037
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	4330	4023	3985	3508	3413	3677
28	Compactación, numero de golpes por cara			75 golp.			75 golp.	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19, se presentan los resultados de los ensayos de peso específico y ensayo de Marshall de las briquetas diseñadas al adicionar el 6% y 6.5% de cemento asfáltico (c.a.).

Tabla 19
Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica densa al 6% y 6.5% de c.a.

Ítem	BRIQUETAS	und	13°	14°	15°	16°	17°	18°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	32.90	32.90	32.90	32.73	32.73	32.73
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	60.16	60.16	60.16	59.84	59.84	59.84
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm ³	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm ³	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm ³	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm ³	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100
9	Peso de la briketa al aire	gr	1248.1	1250.0	1251.0	1249.1	1250.3	1251.5
10	Peso de la briketa saturada	gr	1256.7	1258.0	1259.1	1257.3	1259.4	1259.0
11	Peso de la briketa en agua	gr	714.8	714.1	713.9	710.3	713.7	712.1
12	Volumen de briketa + parafina	cm ³	541.9	543.9	545.2	547.0	545.7	546.9
13	Peso específico Bulk de la briketa	gr/cm ³	2.303	2.298	2.295	2.284	2.291	2.288
14	Peso específico máximo	gr/cm ³	2.380	2.380	2.380	2.360	2.360	2.360
15	Vacíos	%	3.23	3.44	3.59	3.24	2.92	3.04
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631
17	Vacíos de agregado mineral	%	17.71	17.89	18.02	18.85	18.57	18.68
18	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	81.78	80.79	80.08	82.81	84.30	83.74
19	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.601	2.601	2.601	2.597	2.597	2.597
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	-0.441	-0.441	-0.441	-0.504	-0.504	-0.504
21	Cemento asfáltico efectivo	%	6.41	6.41	6.41	6.97	6.97	6.97
22	Flujo	mm	3.57	3.31	3.42	3.82	3.73	3.65
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	1044.6	1032.4	1016.4	1002.9	976.7	987.7

25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
26	Estabilidad corregida	kg	1045	1032	1016	1003	977	988
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2926	3119	2972	2625	2618	2706
28	Compactación, numero de golpes por cara		75 golp.				75 golp.	

Fuente: Elaboración propia

Después de obtenidos los resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica densa, se elaboraron gráficas a fin de determinar el óptimo contenido de cemento asfáltico; para ello, se presenta en la figura 12 la gráfica de los porcentajes de vacíos resultantes al variar el porcentaje de cemento asfáltico de 4% al 6.5%; en la figura 13, se presenta el peso unitario; en la figura 14, se presenta la gráfica de los vacíos de agregado mineral; en la figura 15, se presentan los vacíos llenos con cemento asfáltico; en la figura 16, los resultados de flujo; y en la figura 17, los resultados de estabilidad. Además, se adjuntó en cada gráfica las especificaciones de cada propiedad representadas con líneas negras entrecortadas para determinar a qué porcentaje de cemento asfáltico se cumplen con estas especificaciones. Finalmente, se plasmó con una línea roja en cada gráfica el óptimo porcentaje de cemento asfáltico resultante para el porcentaje de vacíos del 4%.

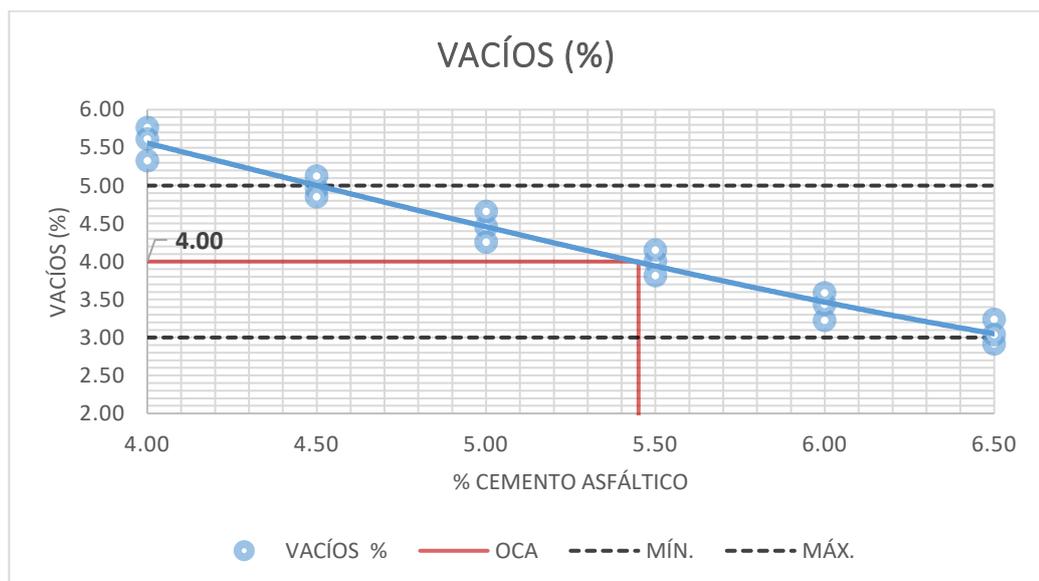


Figura 12
Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)

Fuente: Elaboración propia

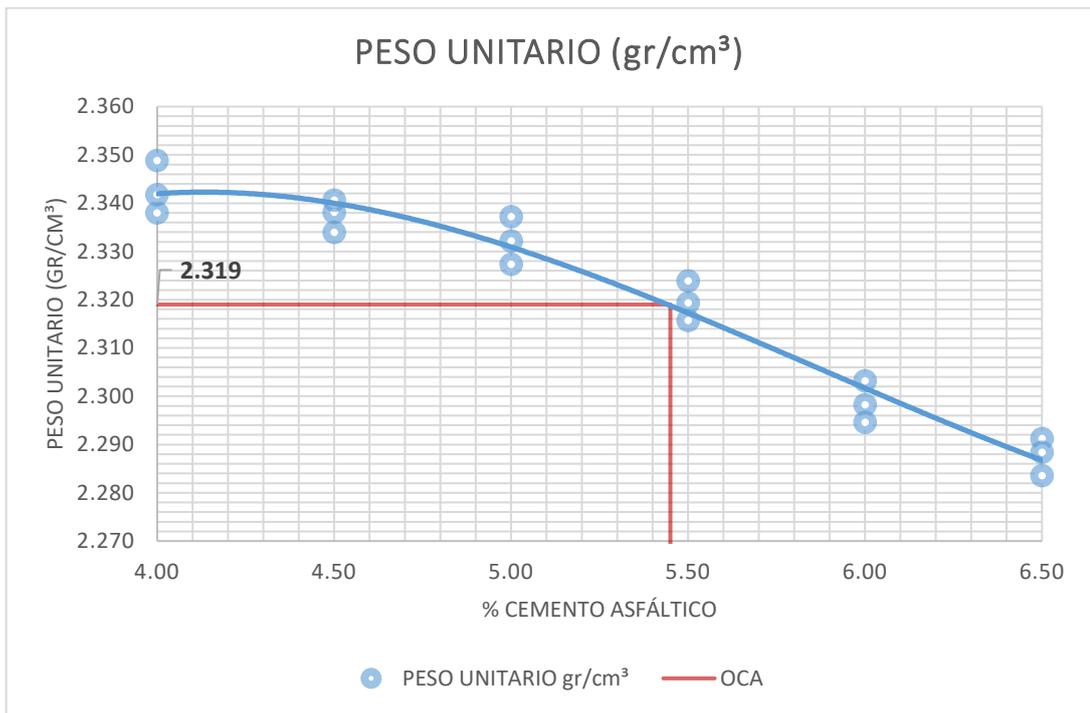


Figura 13
 Peso unitario (gr/cm³) ante variación de Cemento asfáltico (%)
 Fuente: Elaboración propia

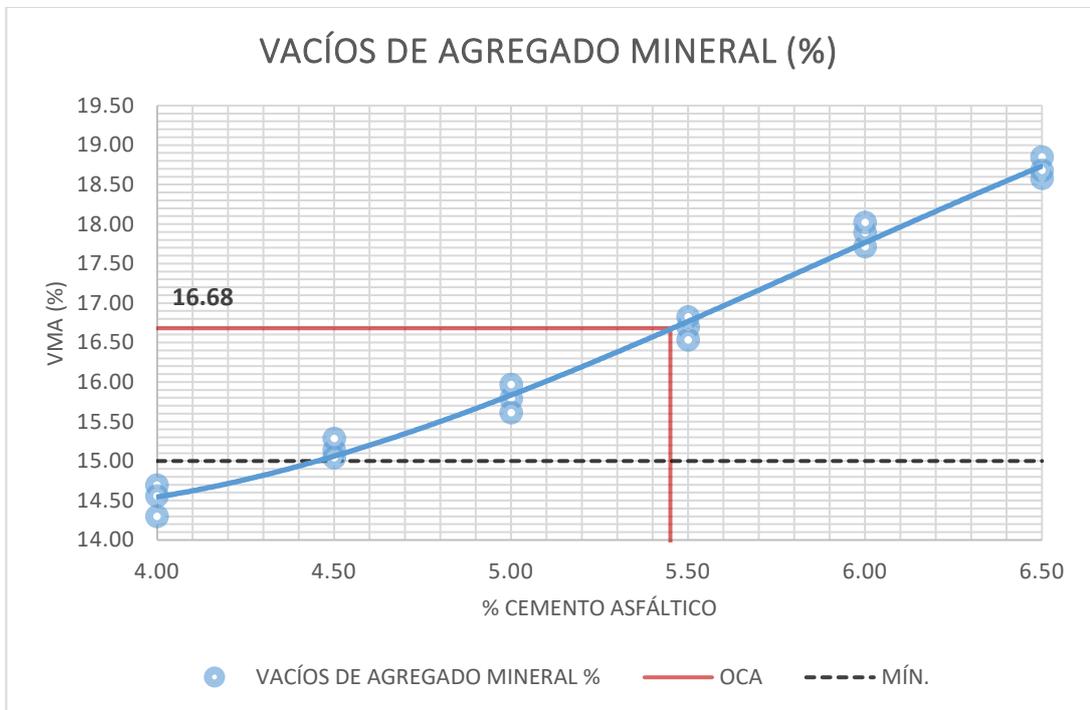


Figura 14
 Vacíos de agregado mineral (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)
 Fuente: Elaboración propia

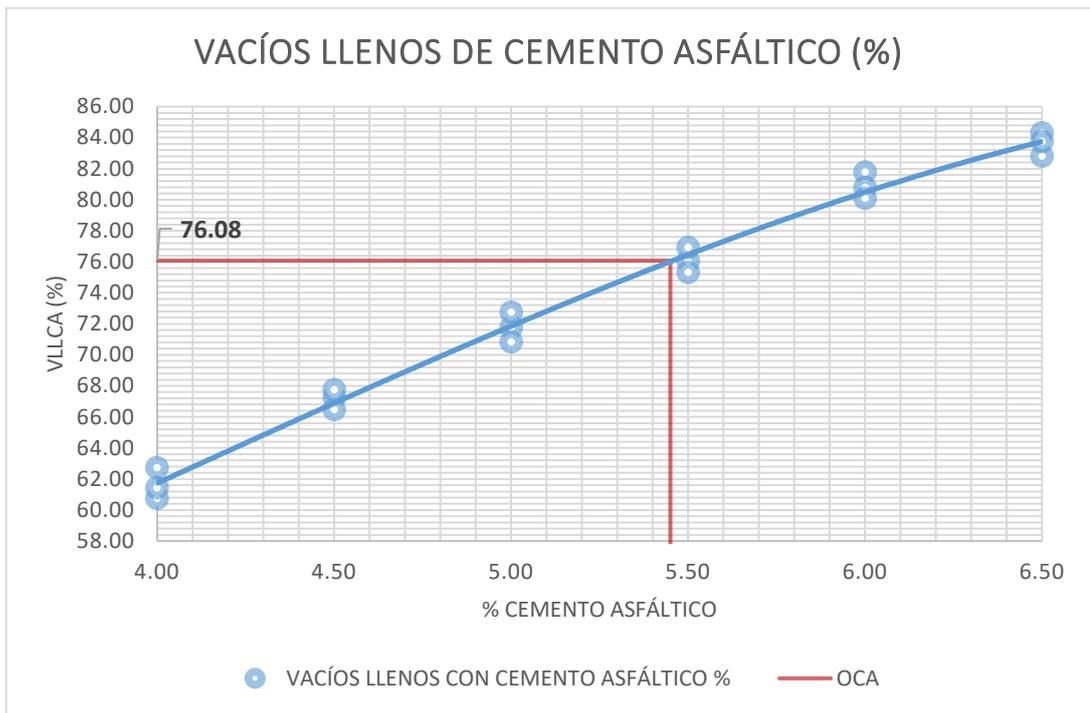


Figura 15
 Vacíos llenos de cemento asfáltico (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)
 Fuente: Elaboración propia

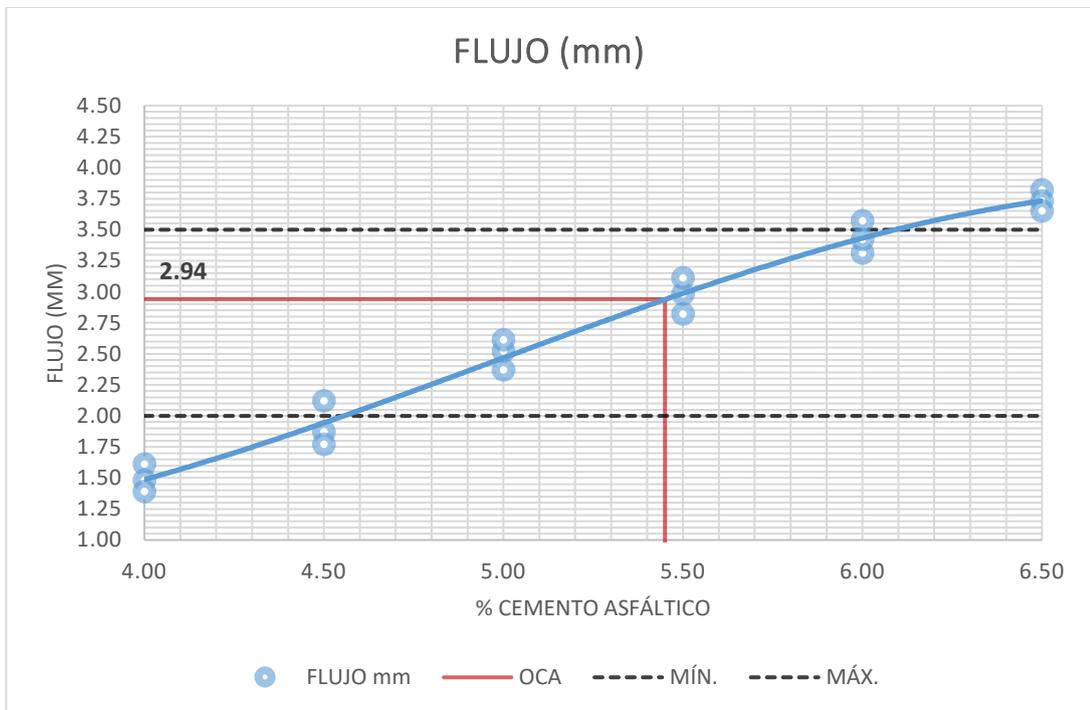


Figura 16
 Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%)
 Fuente: Elaboración propia

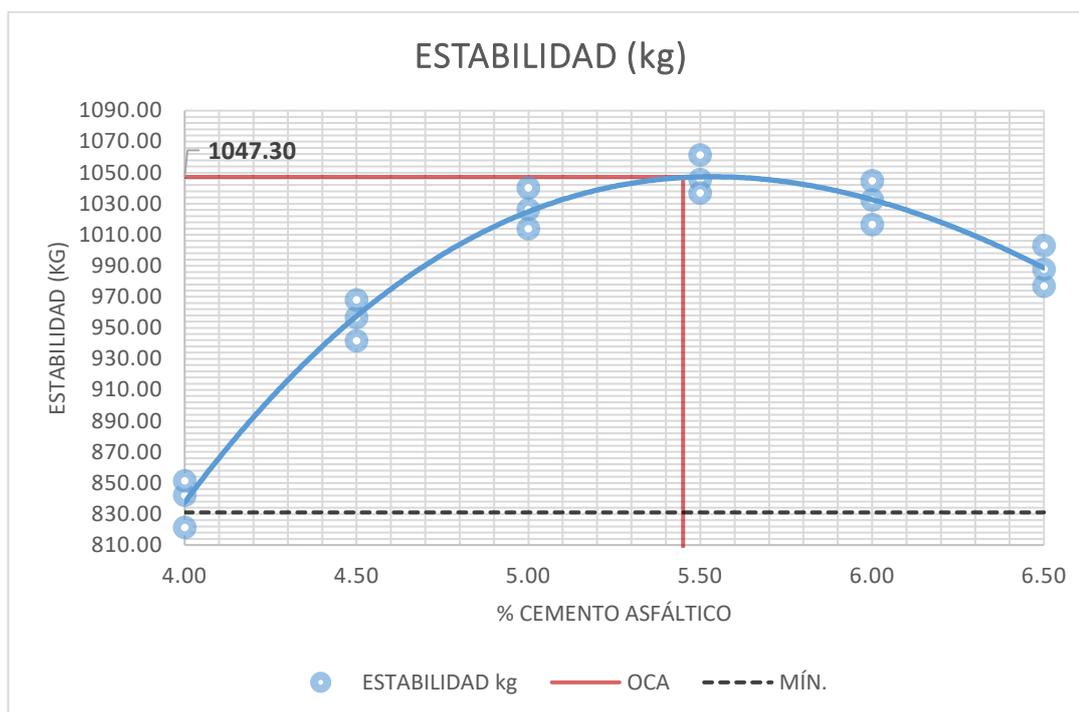


Figura 17
Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%)

Fuente: Elaboración propia

Tras la evaluación de las propiedades mecánicas de la mezcla diseñada, se concluyó que el óptimo contenido de cemento asfáltico es de 5.45%, y se verificaron en las gráficas presentadas que los resultados para este porcentaje cumplen con estar dentro de las especificaciones del método Marshall. En la tabla 20, se presenta la tabla resumen de los resultados de cada propiedad para el óptimo contenido de cemento asfáltico de 5.45%.

Tabla 20
Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico del 5.45% - Muestra control

Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico – Muestra control		
Propiedades	Resultados	Especificaciones
Cemento asfáltico (%)	5.45	---
Vacios (%)	4.0	Entre 3% y 5%
Peso unitario (gr/cm ³)	2.319	---
Vacios de agregado mineral (%)	16.68	Mín. 15%
Vacios llenos con cemento asfáltico (%)	76.08	---
Flujo (mm)	2.94	Entre 2 mm y 3.5 mm
Estabilidad corregida (kg)	1047.3	Mín. 831.07 kg

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Propiedades mecánicas de muestras expuestas a rayos UV – OE2

En el presente apartado, se analizan los resultados del ensayo de Marshall realizado a las mezclas asfálticas densas diseñadas por MAC 2 tras someterlas a envejecimiento con radiación ultravioleta a los tiempos resultantes tras analizar la radiación ultravioleta mensual que se da en la región Junín. Presentando así en los siguientes ítems las propiedades mecánicas de las mezclas a 45, 90, 135 y 180 horas de envejecimiento.

4.4.2.1. Exposición a rayos UV por 45 horas

En la tabla 21, se presentan los resultados de los ensayos de peso específico de las briquetas resultantes tras la exposición de la mezcla asfáltica a radiación ultravioleta por 45 horas, y en la tabla 22 se presentan los resultados del ensayo de Marshall. Para este ensayo, también se realizaron muestras al variar el porcentaje de cemento asfáltico empleado en 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

Tabla 21
Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 45 horas (1/2)

Muestra	Asfalto	Peso seco	Peso SSS	Peso sum.	Volumen	Peso especif. Bulk	Peso especif. máximo	Vacios
	%	gr	gr	gr	cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	%
M(uv)-019	4.0	1248.0	1256.8	724.1	532.7	2.343	2.481	5.58
M(uv)-020	4.0	1249.0	1259.0	726.6	532.4	2.346	2.481	5.45
M(uv)-021	4.0	1249.8	1257.5	725.0	532.5	2.347	2.481	5.41
M(uv)-022	4.5	1247.5	1257.1	724.7	532.4	2.343	2.460	4.76
M(uv)-023	4.5	1250.2	1257.6	723.1	534.5	2.339	2.460	4.91
M(uv)-024	4.5	1249.8	1256.4	723.9	532.5	2.347	2.460	4.60
M(uv)-025	5.0	1246.8	1252.8	717.9	534.9	2.331	2.441	4.52
M(uv)-026	5.0	1248.0	1257.6	722.9	534.7	2.334	2.441	4.38
M(uv)-027	5.0	1249.3	1258.5	723.7	534.8	2.336	2.441	4.29
M(uv)-028	5.5	1248.6	1256.5	718.5	538.0	2.321	2.416	3.94
M(uv)-029	5.5	1250.3	1258.5	720.3	538.2	2.323	2.416	3.85
M(uv)-030	5.5	1249.6	1257.7	718.6	539.1	2.318	2.416	4.06
M(uv)-031	6.0	1247.3	1253.9	710.4	543.5	2.295	2.380	3.59

M(uv)-032	6.0	1248.3	1255.3	711.9	543.4	2.297	2.380	3.47
M(uv)-033	6.0	1249.9	1255.6	712.4	543.2	2.301	2.380	3.32
M(uv)-034	6.5	1247.7	1253.7	706.9	546.8	2.282	2.360	3.29
M(uv)-035	6.5	1249.1	1257.4	709.5	547.9	2.280	2.360	3.39
M(uv)-036	6.5	1248.1	1256.6	710.1	546.5	2.284	2.360	3.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22
Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 45 horas (2/2)

Muestra	Asfalto	Peso específ. Bulk agreg.	Vacíos de agreg. min.	Vacíos llenos con c.a.	Flujo	Estabilidad	Factor	Estab. Correg.
	%	gr/cm ³	%	%	mm	kg	---	kg
M(uv)-019	4.0	2.631	14.51	61.54	1.59	871.0	1	871.0
M(uv)-020	4.0	2.631	14.40	62.15	1.80	851.2	1	851.2
M(uv)-021	4.0	2.631	14.36	62.33	1.89	842.9	1	842.9
M(uv)-022	4.5	2.631	14.95	68.17	2.32	950.5	1	950.5
M(uv)-023	4.5	2.631	15.10	67.48	2.08	941.0	1	941.0
M(uv)-024	4.5	2.631	14.81	68.94	2.28	923.6	1	923.6
M(uv)-025	5.0	2.631	15.83	71.45	2.84	994.6	1	994.6
M(uv)-026	5.0	2.631	15.72	72.14	2.59	1007.2	1	1007.2
M(uv)-027	5.0	2.631	15.65	72.59	2.71	1017.8	1	1017.8
M(uv)-028	5.5	2.631	16.63	76.31	3.01	1005.2	1	1005.2
M(uv)-029	5.5	2.631	16.56	76.76	3.28	1017.9	1	1017.9
M(uv)-030	5.5	2.631	16.74	75.75	3.16	1028.9	1	1028.9
M(uv)-031	6.0	2.631	18.00	80.06	3.66	974.3	1	974.3
M(uv)-032	6.0	2.631	17.93	80.65	3.51	1002.6	1	1002.6
M(uv)-033	6.0	2.631	17.79	81.34	3.42	989.7	1	989.7
M(uv)-034	6.5	2.631	18.90	82.60	3.51	969.3	1	969.3
M(uv)-035	6.5	2.631	18.97	82.13	3.60	957.5	1	957.5
M(uv)-036	6.5	2.631	18.83	83.01	3.74	942.6	1	942.6

Fuente: Elaboración propia

Tras los resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica densa envejecida con radiación ultravioleta por 45 horas, se elaboraron las gráficas para determinar el óptimo contenido de cemento asfáltico, para ello se presenta en la figura 18 los porcentajes de vacíos, en la figura 19 los resultados de flujo y en la figura 20 los resultados de

estabilidad. Además, se adjuntó en cada gráfica las especificaciones de cada propiedad representadas con líneas negras entrecortadas para determinar a qué porcentaje de cemento asfáltico se cumplen con estas especificaciones. Finalmente, se plasmó con una línea roja en cada gráfica el óptimo porcentaje de cemento asfáltico resultante para el porcentaje de vacíos del 4%.

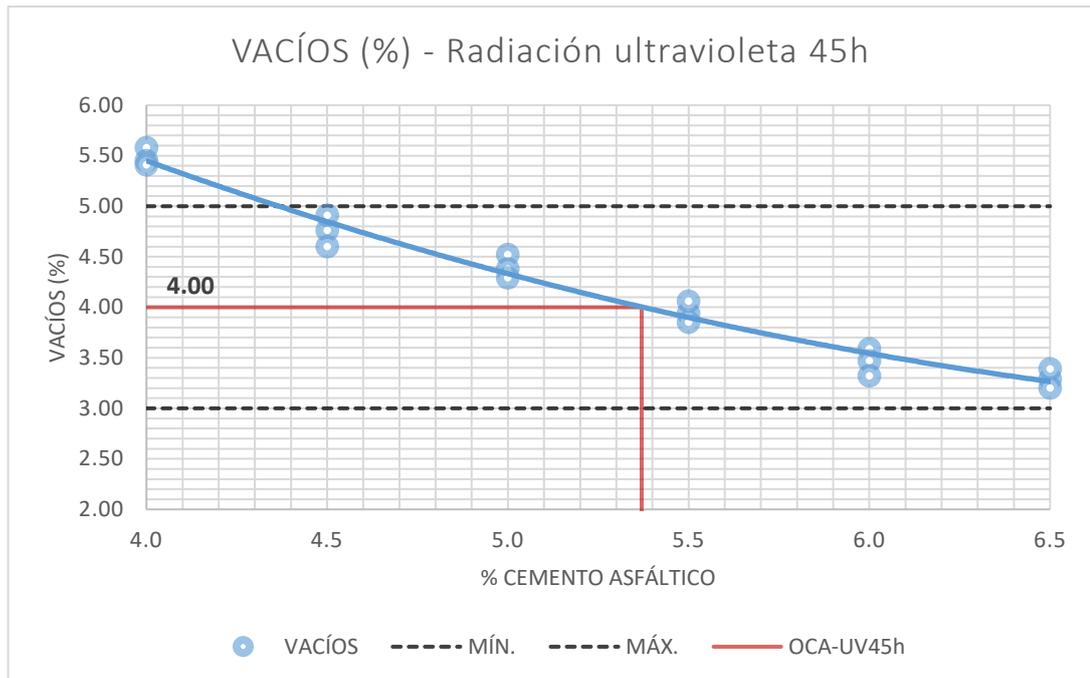


Figura 18
 Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 45h
 Fuente: Elaboración propia

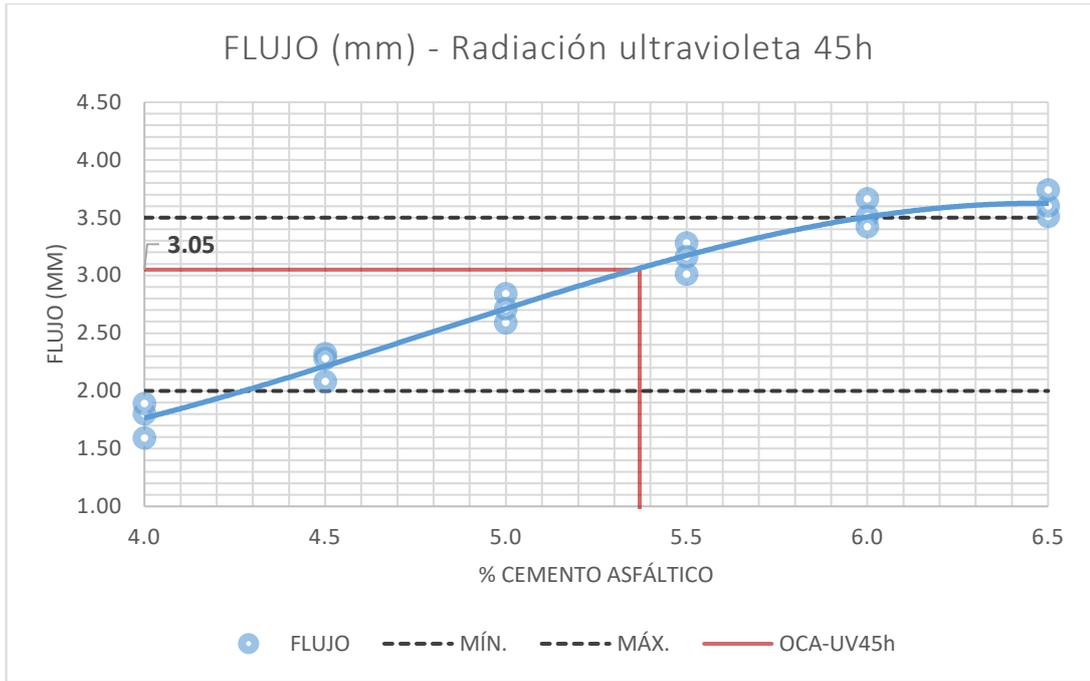


Figura 19
 Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 45h
 Fuente: Elaboración propia

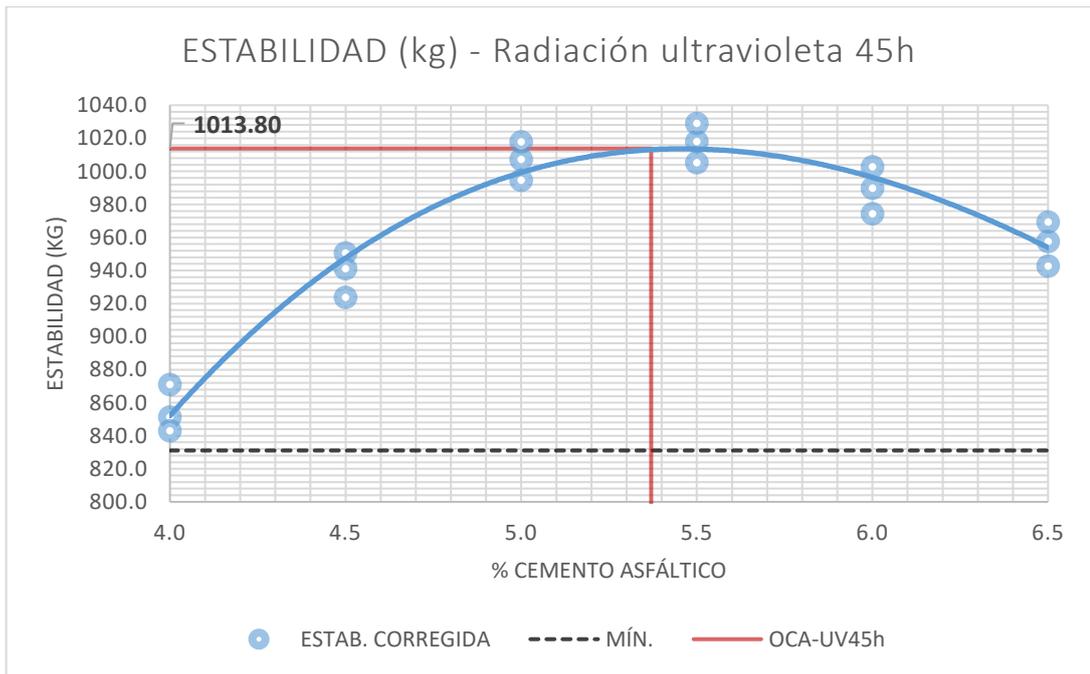


Figura 20
 Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 45h
 Fuente: Elaboración propia

En estas propiedades, se observa que al 4% de vacíos se da al 5.37% de cemento asfáltico, siendo este el óptimo contenido para la mezcla

asfáltica densa envejecida con radiación ultravioleta por 45 horas. La estabilidad es de 1013.8 kg, menor al de la muestra control de 1047.3 kg, y una fluencia de 3.05 mm que resulta mayor al flujo de 2.94 mm de la muestra control. En la tabla 23 se presentan los resultados resumen de las propiedades mecánicas que corresponden al óptimo contenido de cemento asfáltico para la mezcla asfáltica densa envejecida con radiación solar por 45 horas.

Tabla 23
Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico del 5.37% - Muestra envejecida 45h

Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico – Muestra envejecida 45h		
Propiedades	Resultados	Especificaciones
Cemento asfáltico (%)	5.37	---
Vacíos (%)	4.0	Entre 3% y 5%
Flujo (mm)	3.05	Entre 2 mm y 3.5 mm
Estabilidad corregida (kg)	1013.8	Mín. 831.07 kg

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2. Exposición a rayos UV por 90 horas

En la tabla 24, se presentan los resultados de los ensayos de peso específico de las briquetas resultantes tras la exposición de la mezcla asfáltica a radiación ultravioleta por 90 horas, y en la tabla 25 se presentan los resultados del ensayo de Marshall. Para este ensayo también se realizaron muestras al variar el porcentaje de cemento asfáltico empleado en 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

Tabla 24
Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 90 horas (1/2)

Muestra	Asfalto	Peso seco	Peso SSS	Peso sum.	Volumen	Peso especif. Bulk	Peso especif. máximo	Vacíos
	%	gr	gr	gr	cm³	gr/cm³	gr/cm³	%
M(uv)-037	4.0	1249.6	1256.6	725.1	531.5	2.351	2.481	5.25
M(uv)-038	4.0	1250.9	1260.1	728.9	531.2	2.355	2.481	5.08
M(uv)-039	4.0	1248.4	1257.5	727.2	530.3	2.354	2.481	5.11
M(uv)-040	4.5	1249.0	1258.4	726.0	532.4	2.346	2.460	4.63
M(uv)-041	4.5	1247.1	1257.7	725.7	532.0	2.344	2.460	4.70

M(uv)-042	4.5	1248.1	1257.7	724.6	533.1	2.341	2.460	4.82
M(uv)-043	5.0	1246.1	1253.8	720.1	533.7	2.335	2.441	4.35
M(uv)-044	5.0	1246.2	1252.3	720.0	532.3	2.341	2.441	4.10
M(uv)-045	5.0	1246.1	1252.6	719.4	533.2	2.337	2.441	4.27
M(uv)-046	5.5	1248.3	1258.2	721.8	536.4	2.327	2.416	3.69
M(uv)-047	5.5	1249.4	1259.7	723.0	536.7	2.328	2.416	3.63
M(uv)-048	5.5	1248.5	1258.1	720.9	537.2	2.324	2.416	3.81
M(uv)-049	6.0	1246.4	1254.5	713.1	541.4	2.302	2.380	3.28
M(uv)-050	6.0	1248.5	1258.6	717.2	541.4	2.306	2.380	3.10
M(uv)-051	6.0	1249.1	1256.5	714.6	541.9	2.305	2.380	3.15
M(uv)-052	6.5	1245.6	1251.7	708.7	543.0	2.294	2.360	2.81
M(uv)-053	6.5	1250.4	1259.9	715.5	544.4	2.297	2.360	2.66
M(uv)-054	6.5	1247.9	1254.6	712.0	542.6	2.300	2.360	2.55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25
Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 90 horas (2/2)

Muestra	Asfalto	Peso específ. Bulk agreg.	Vacíos de agreg. min.	Vacíos llenos con c.a.	Flujo	Estabilidad	Factor	Estab. Correg.
	%	gr/cm ³	%	%	mm	kg	---	kg
M(uv)-037	4.0	2.631	14.22	63.07	2.04	850.1	1	850.1
M(uv)-038	4.0	2.631	14.07	63.90	2.02	815.9	1	815.9
M(uv)-039	4.0	2.631	14.11	63.78	2.20	831.5	1	831.5
M(uv)-040	4.5	2.631	14.84	68.81	2.29	949.1	1	949.1
M(uv)-041	4.5	2.631	14.92	68.49	2.63	933.7	1	933.7
M(uv)-042	4.5	2.631	15.03	67.92	2.56	926.8	1	926.8
M(uv)-043	5.0	2.631	15.69	72.27	2.73	968.2	1	968.2
M(uv)-044	5.0	2.631	15.47	73.50	2.89	998.5	1	998.5
M(uv)-045	5.0	2.631	15.62	72.66	2.97	980.5	1	980.5
M(uv)-046	5.5	2.631	16.42	77.53	3.14	999.0	1	999.0
M(uv)-047	5.5	2.631	16.38	77.84	3.32	980.8	1	980.8
M(uv)-048	5.5	2.631	16.53	76.95	3.46	1006.9	1	1006.9
M(uv)-049	6.0	2.631	17.75	81.53	3.54	983.7	1	983.7
M(uv)-050	6.0	2.631	17.61	82.40	3.84	974.6	1	974.6
M(uv)-051	6.0	2.631	17.65	82.15	3.73	957.6	1	957.6
M(uv)-052	6.5	2.631	18.48	84.79	3.72	947.4	1	947.4

M(uv)-053	6.5	2.631	18.37	85.52	3.95	928.1	1	928.1
M(uv)-054	6.5	2.631	18.26	86.04	3.82	915.1	1	915.1

Fuente: Elaboración propia

Tras los resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica densa envejecida con radiación ultravioleta por 90 horas, se elaboraron las gráficas para determinar el óptimo contenido de cemento asfáltico; para ello, se presenta en la figura 21 los porcentajes de vacíos; en la figura 22 los resultados de flujo; y en la figura 23 los resultados de estabilidad. Además, se adjuntó en cada gráfica las especificaciones de cada propiedad representadas con líneas negras entrecortadas para determinar a qué porcentaje de cemento asfáltico se cumplen con estas especificaciones. Finalmente, se plasmó con una línea roja en cada gráfica el óptimo porcentaje de cemento asfáltico resultante para el porcentaje de vacíos del 4%.

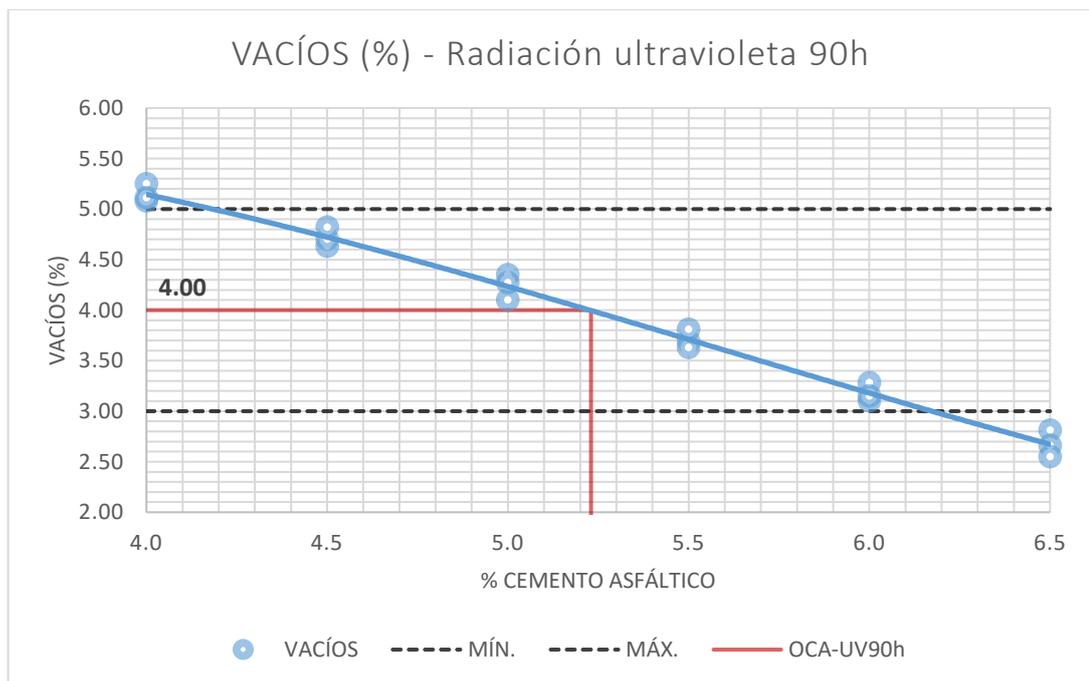


Figura 21
 Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 90h
 Fuente: Elaboración propia

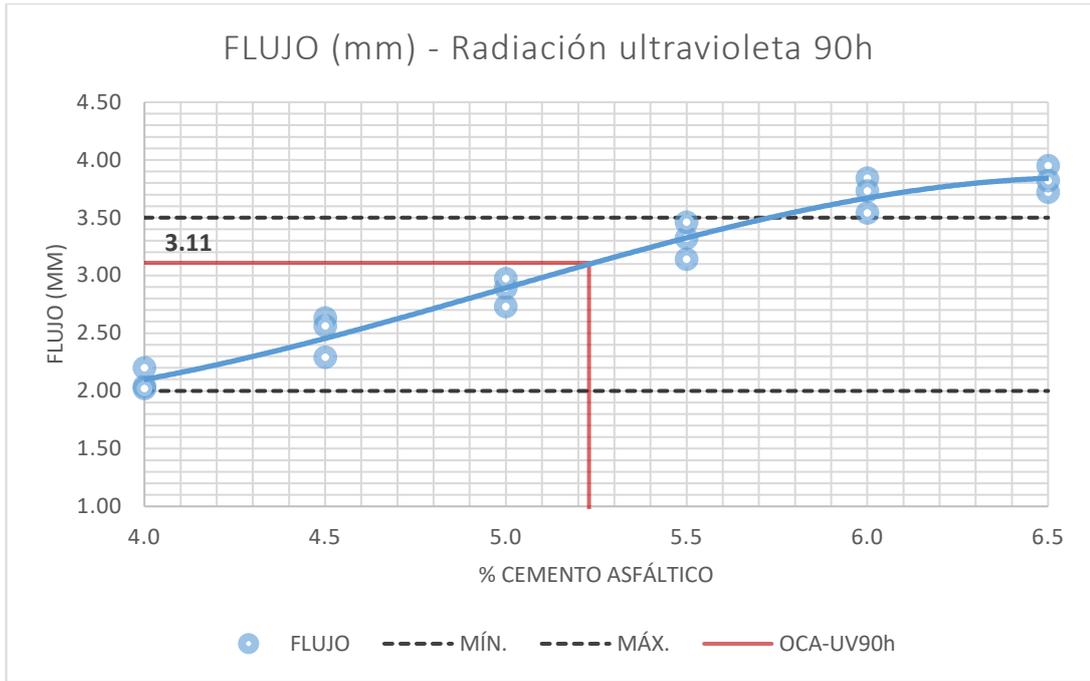


Figura 22
 Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 90h
 Fuente: Elaboración propia

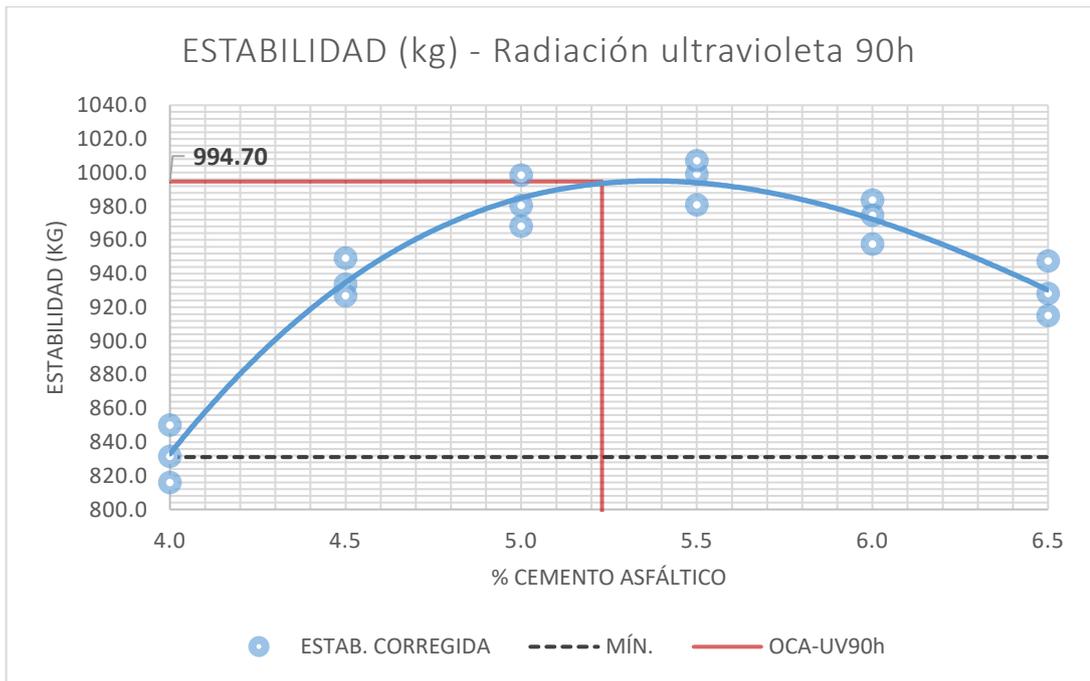


Figura 23
 Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 90h
 Fuente: Elaboración propia

En estas propiedades, se observa que al 4% de vacíos se da al 5.23% de cemento asfáltico, siendo este el óptimo contenido para la mezcla

asfáltica densa envejecida con radiación ultravioleta por 90 horas. La estabilidad es de 994.7 kg, menor al de la muestra control de 1047.3 kg, y una fluencia de 3.11 mm que resulta mayor al flujo de 2.94 mm de la muestra control. En la tabla 26, se presentan los resultados resumen de las propiedades mecánicas que corresponden al óptimo contenido de cemento asfáltico para la mezcla asfáltica densa envejecida con radiación solar por 90 horas.

Tabla 26
Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico del 5.23% - Muestra envejecida 90h

Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico – Muestra envejecida 90h		
Propiedades	Resultados	Especificaciones
Cemento asfáltico (%)	5.23	---
Vacíos (%)	4.0	Entre 3% y 5%
Flujo (mm)	3.11	Entre 2 mm y 3.5 mm
Estabilidad corregida (kg)	994.7	Mín. 831.07 kg

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.3. Exposición a rayos UV por 135 horas

En la tabla 27, se presentan los resultados de los ensayos de peso específico de las briquetas resultantes tras la exposición de la mezcla asfáltica a radiación ultravioleta por 135 horas, y en la tabla 28 se presentan los resultados del ensayo de Marshall. Para este ensayo, también se realizaron muestras al variar el porcentaje de cemento asfáltico empleado en 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

Tabla 27
Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 135 horas (1/2)

Muestra	Asfalto	Peso seco	Peso SSS	Peso sum.	Volumen	Peso especif. Bulk	Peso especif. máximo	Vacíos
	%	gr	gr	gr	cm³	gr/cm³	gr/cm³	%
M(uv)-055	4.0	1245.6	1255.5	727.7	527.8	2.360	2.481	4.86
M(uv)-056	4.0	1248.0	1256.4	726.7	529.7	2.356	2.481	5.05
M(uv)-057	4.0	1249.2	1259.5	730.0	529.5	2.359	2.481	4.93
M(uv)-058	4.5	1247.2	1256.6	726.1	530.5	2.351	2.460	4.42
M(uv)-059	4.5	1246.8	1252.6	722.5	530.1	2.352	2.460	4.38

M(uv)-060	4.5	1249.4	1256.2	723.9	532.3	2.347	2.460	4.58
M(uv)-061	5.0	1251.0	1260.7	725.6	535.1	2.338	2.441	4.24
M(uv)-062	5.0	1249.6	1256.7	722.9	533.8	2.341	2.441	4.11
M(uv)-063	5.0	1248.7	1255.2	722.3	532.9	2.343	2.441	4.01
M(uv)-064	5.5	1248.1	1257.4	721.0	536.4	2.327	2.416	3.69
M(uv)-065	5.5	1245.6	1254.1	720.0	534.1	2.332	2.416	3.47
M(uv)-066	5.5	1249.8	1259.5	723.1	536.4	2.330	2.416	3.58
M(uv)-067	6.0	1249.7	1257.1	714.7	542.4	2.304	2.380	3.20
M(uv)-068	6.0	1247.5	1253.7	713.2	540.5	2.308	2.380	3.01
M(uv)-069	6.0	1250.5	1256.3	713.8	542.5	2.305	2.380	3.15
M(uv)-070	6.5	1250.3	1256.9	710.9	546.0	2.290	2.360	2.97
M(uv)-071	6.5	1247.2	1253.3	709.9	543.4	2.295	2.360	2.75
M(uv)-072	6.5	1250.8	1258.7	713.2	545.5	2.293	2.360	2.84

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28
Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 135 horas (2/2)

Muestra	Asfalto	Peso específ. Bulk agreg.	Vacíos de agreg. min.	Vacíos llenos con c.a.	Flujo	Estabilidad	Factor	Estab. Correg.
	%	gr/cm ³	%	%	mm	kg	---	kg
M(uv)-055	4.0	2.631	13.89	65.01	2.61	729.1	1	729.1
M(uv)-056	4.0	2.631	14.03	64.02	2.43	710.3	1	710.3
M(uv)-057	4.0	2.631	13.92	64.60	2.31	736.5	1	736.5
M(uv)-058	4.5	2.631	14.66	69.86	3.14	792.9	1	792.9
M(uv)-059	4.5	2.631	14.63	70.06	2.90	811.7	1	811.7
M(uv)-060	4.5	2.631	14.81	69.07	3.03	822.2	1	822.2
M(uv)-061	5.0	2.631	15.58	72.78	3.42	887.4	1	887.4
M(uv)-062	5.0	2.631	15.47	73.43	3.67	857.3	1	857.3
M(uv)-063	5.0	2.631	15.40	73.96	3.54	867.9	1	867.9
M(uv)-064	5.5	2.631	16.42	77.53	3.90	868.4	1	868.4
M(uv)-065	5.5	2.631	16.24	78.63	4.12	886.8	1	886.8
M(uv)-066	5.5	2.631	16.31	78.05	3.82	900.7	1	900.7
M(uv)-067	6.0	2.631	17.68	81.90	4.34	888.7	1	888.7
M(uv)-068	6.0	2.631	17.54	82.84	4.63	873.4	1	873.4
M(uv)-069	6.0	2.631	17.65	82.15	4.52	864.4	1	864.4
M(uv)-070	6.5	2.631	18.62	84.05	4.82	853.9	1	853.9

M(uv)-071	6.5	2.631	18.44	85.09	4.64	867.8	1	867.8
M(uv)-072	6.5	2.631	18.51	84.66	4.75	846.2	1	846.2

Fuente: Elaboración propia

Tras los resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica densa envejecida con radiación ultravioleta por 135 horas, se elaboraron las gráficas para determinar el óptimo contenido de cemento asfáltico; para ello, se presenta en la figura 24 los porcentajes de vacíos; en la figura 25 los resultados de flujo; y en la figura 26 los resultados de estabilidad. Además, se adjuntó en cada gráfica las especificaciones de cada propiedad representadas con líneas negras entrecortadas para determinar a qué porcentaje de cemento asfáltico se cumplen con estas especificaciones. Finalmente, se plasmó con una línea roja en cada gráfica el óptimo porcentaje de cemento asfáltico resultante para el porcentaje de vacíos del 4%.

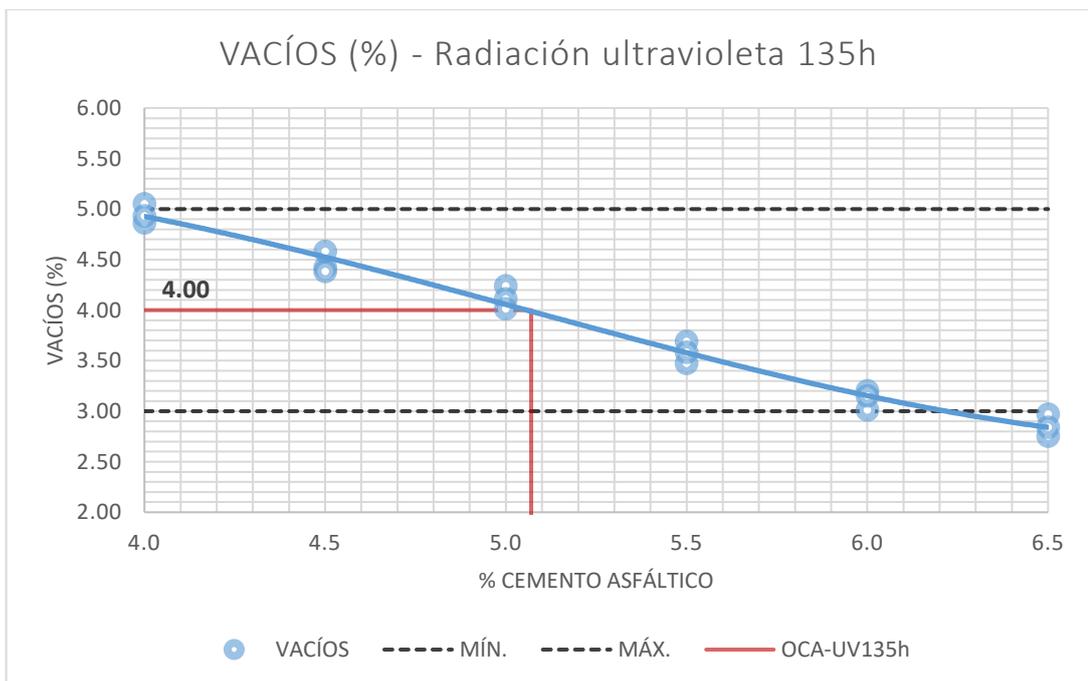


Figura 24
 Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 135h
 Fuente: Elaboración propia

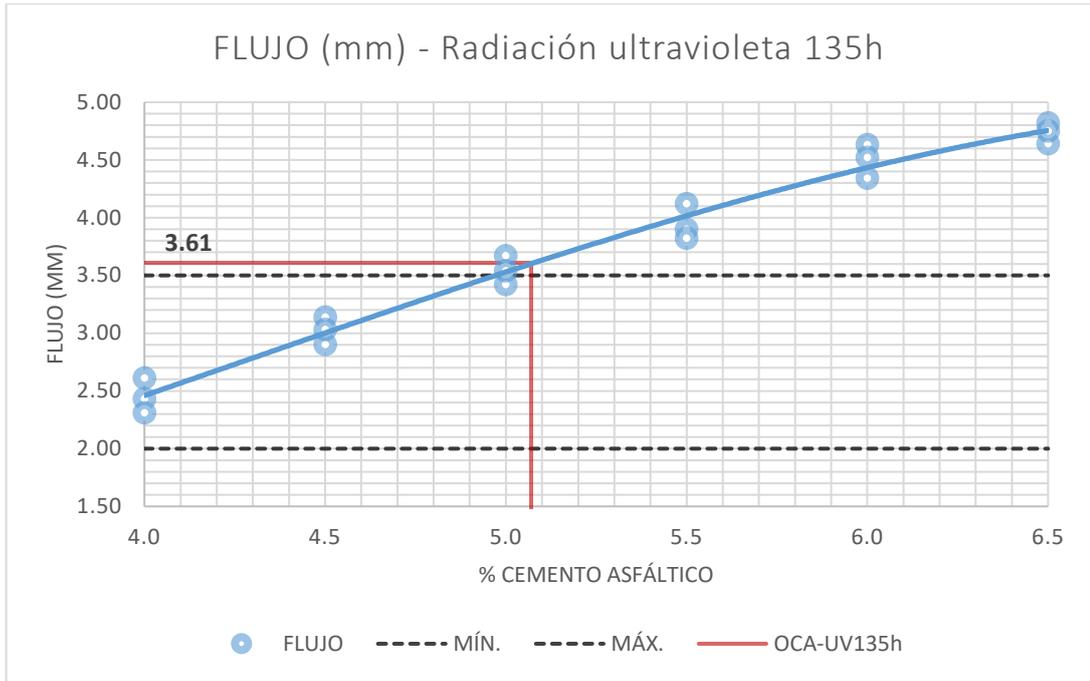


Figura 25
 Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 135h
 Fuente: Elaboración propia

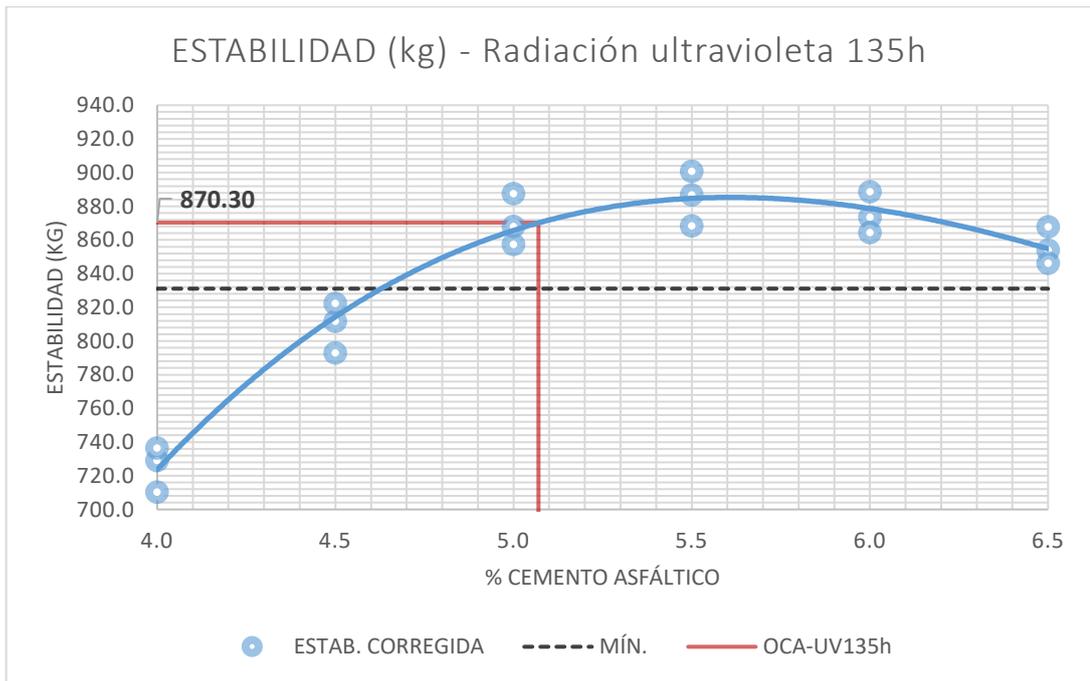


Figura 26
 Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 135h
 Fuente: Elaboración propia

En estas propiedades, se observa que al 4% de vacíos se da al 5.07% de cemento asfáltico, siendo este el óptimo contenido para la mezcla

asfáltica densa envejecida con radiación ultravioleta por 135 horas. La estabilidad es de 870.3 kg, menor al de la muestra control de 1047.3 kg, y una fluencia de 3.6 mm que resulta mayor al flujo de 2.94 mm de la muestra control y superior al máximo flujo de la norma de 3.5 mm. En la tabla 29, se presentan los resultados resumen de las propiedades mecánicas que corresponden al óptimo contenido de cemento asfáltico para la mezcla asfáltica densa envejecida con radiación solar por 135 horas.

Tabla 29
Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico del 5.07% - Muestra envejecida 135h

Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico – Muestra envejecida 135h		
Propiedades	Resultados	Especificaciones
Cemento asfáltico (%)	5.07	---
Vacios (%)	4.0	Entre 3% y 5%
Flujo (mm)	3.1661	Entre 2 mm y 3.5 mm
Estabilidad corregida (kg)	870.30	Mín. 831.07 kg

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.4. Exposición a rayos UV por 180 horas

En la tabla 30, se presentan los resultados de los ensayos de peso específico de las briquetas resultantes tras la exposición de la mezcla asfáltica a radiación ultravioleta por 180 horas, y en la tabla 31 se presentan los resultados del ensayo de Marshall. Para este ensayo, también se realizaron muestras al variar el porcentaje de cemento asfáltico empleado en 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

Tabla 30
Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 180 horas (1/2)

Muestra	Asfalto	Peso seco	Peso SSS	Peso sum.	Volumen	Peso especif. Bulk	Peso especif. máximo	Vacios
	%	gr	gr	gr	cm³	gr/cm³	gr/cm³	%
M(uv)-073	4.0	1247.8	1258.2	731.0	527.2	2.367	2.481	4.58
M(uv)-074	4.0	1250.6	1256.8	728.0	528.8	2.365	2.481	4.67
M(uv)-075	4.0	1248.5	1255.4	728.4	527.0	2.369	2.481	4.51
M(uv)-076	4.5	1247.5	1253.0	722.4	530.6	2.351	2.460	4.44

M(uv)-077	4.5	1247.5	1257.2	727.0	530.2	2.353	2.460	4.33
M(uv)-078	4.5	1245.6	1253.0	724.1	528.9	2.355	2.460	4.25
M(uv)-079	5.0	1247.1	1253.0	721.9	531.1	2.348	2.441	3.81
M(uv)-080	5.0	1245.5	1253.5	722.6	530.9	2.346	2.441	3.88
M(uv)-081	5.0	1249.2	1255.2	721.8	533.4	2.342	2.441	4.05
M(uv)-082	5.5	1250.8	1260.0	722.9	537.1	2.329	2.416	3.62
M(uv)-083	5.5	1246.2	1256.4	722.5	533.9	2.334	2.416	3.41
M(uv)-084	5.5	1248.4	1254.8	720.4	534.4	2.336	2.416	3.31
M(uv)-085	6.0	1248.1	1258.3	717.1	541.2	2.306	2.380	3.10
M(uv)-086	6.0	1246.8	1254.1	712.7	541.4	2.303	2.380	3.23
M(uv)-087	6.0	1245.9	1252.5	712.9	539.6	2.309	2.380	2.97
M(uv)-088	6.5	1247.8	1255.6	710.2	545.4	2.288	2.360	3.07
M(uv)-089	6.5	1247.9	1257.8	713.8	544.0	2.294	2.360	2.80
M(uv)-090	6.5	1248.8	1256.5	711.6	544.9	2.292	2.360	2.87

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 31
Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica envejecida por 180 horas (2/2)*

Muestra	Asfalto	Peso específ. Bulk agreg.	Vacíos de agreg. min.	Vacíos llenos con c.a.	Flujo	Estabilidad	Factor	Estab. Correg.
	%	gr/cm ³	%	%	mm	kg	---	kg
M(uv)-073	4.0	2.631	13.63	66.40	3.30	684.0	1	684.0
M(uv)-074	4.0	2.631	13.71	65.93	3.17	678.2	1	678.2
M(uv)-075	4.0	2.631	13.56	66.74	3.45	710.7	1	710.7
M(uv)-076	4.5	2.631	14.66	69.72	3.65	754.3	1	754.3
M(uv)-077	4.5	2.631	14.59	70.32	3.59	774.1	1	774.1
M(uv)-078	4.5	2.631	14.52	70.73	3.43	782.1	1	782.1
M(uv)-079	5.0	2.631	15.22	74.96	3.93	805.6	1	805.6
M(uv)-080	5.0	2.631	15.29	74.63	4.19	812.6	1	812.6
M(uv)-081	5.0	2.631	15.44	73.76	4.09	825.2	1	825.2
M(uv)-082	5.5	2.631	16.35	77.86	4.47	842.4	1	842.4
M(uv)-083	5.5	2.631	16.17	78.91	4.18	833.7	1	833.7
M(uv)-084	5.5	2.631	16.10	79.44	4.33	818.2	1	818.2
M(uv)-085	6.0	2.631	17.61	82.40	4.66	820.0	1	820.0
M(uv)-086	6.0	2.631	17.72	81.77	4.77	835.4	1	835.4
M(uv)-087	6.0	2.631	17.50	83.03	4.90	805.4	1	805.4

M(uv)-088	6.5	2.631	18.69	83.57	4.88	789.3	1	789.3
M(uv)-089	6.5	2.631	18.48	84.85	4.73	795.0	1	795.0
M(uv)-090	6.5	2.631	18.55	84.53	5.02	773.8	1	773.8

Fuente: Elaboración propia

Tras los resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica densa envejecida con radiación ultravioleta por 180 horas, se elaboraron las gráficas para determinar el óptimo contenido de cemento asfáltico; para ello, se presenta en la figura 27 los porcentajes de vacíos; en la figura 28 los resultados de flujo; y en la figura 29 los resultados de estabilidad. Además, se adjuntó en cada gráfica las especificaciones de cada propiedad representadas con líneas negras entrecortadas para determinar a qué porcentaje de cemento asfáltico se cumplen con estas especificaciones. Finalmente, se plasmó con una línea roja en cada gráfica el óptimo porcentaje de cemento asfáltico resultante para el porcentaje de vacíos del 4%.

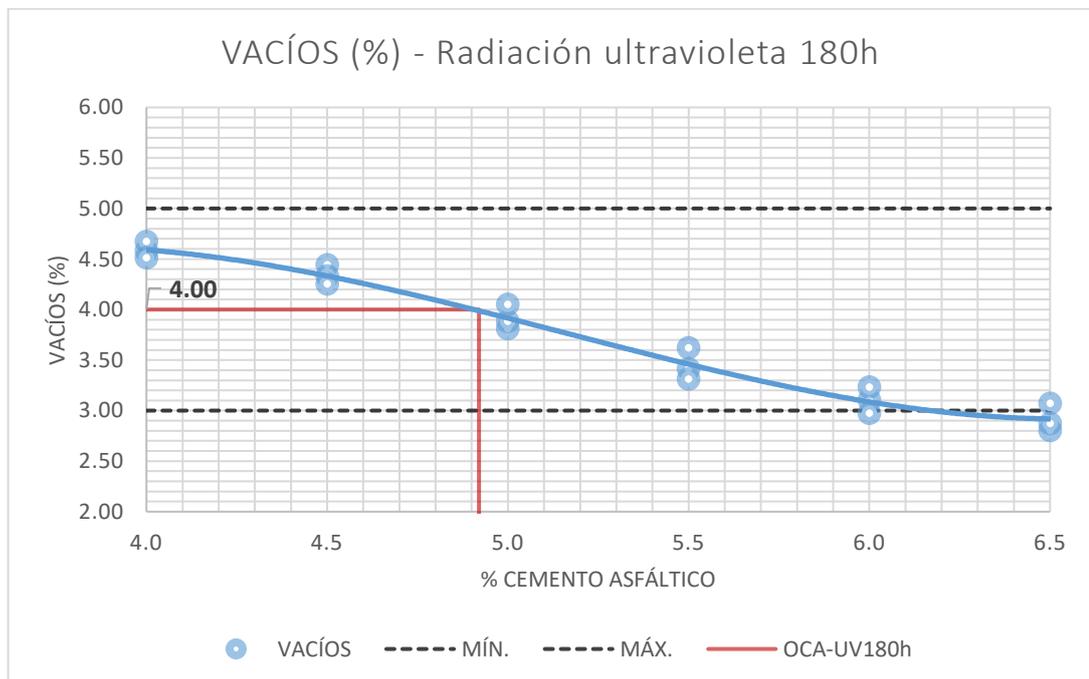


Figura 27
 Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 180h
 Fuente: Elaboración propia

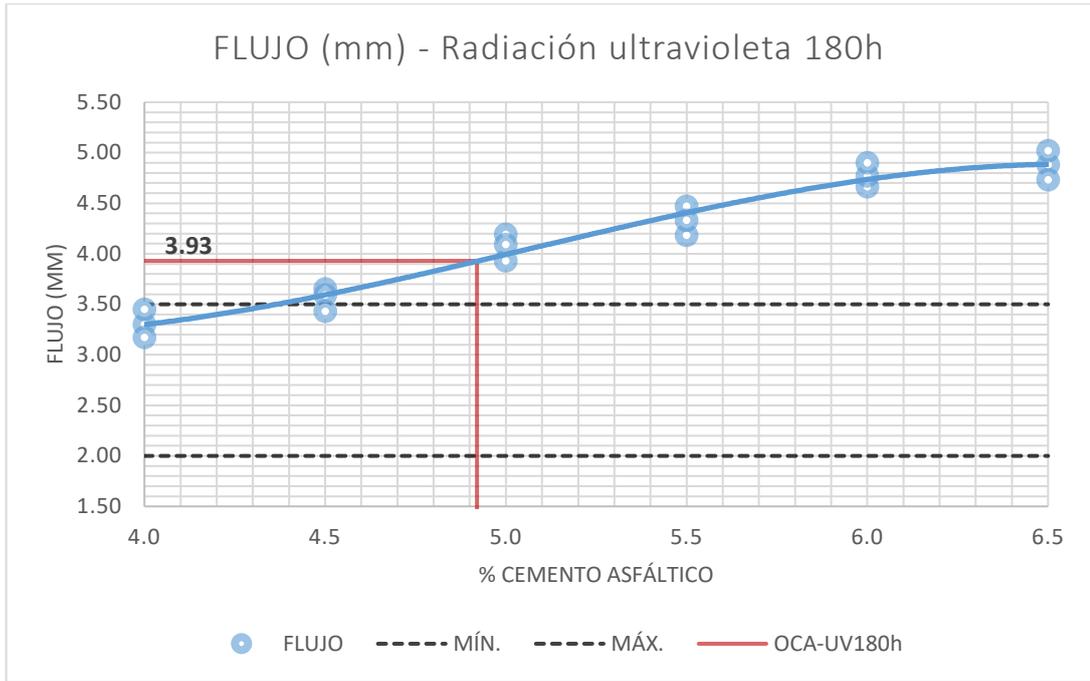


Figura 28
 Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 180h
 Fuente: Elaboración propia

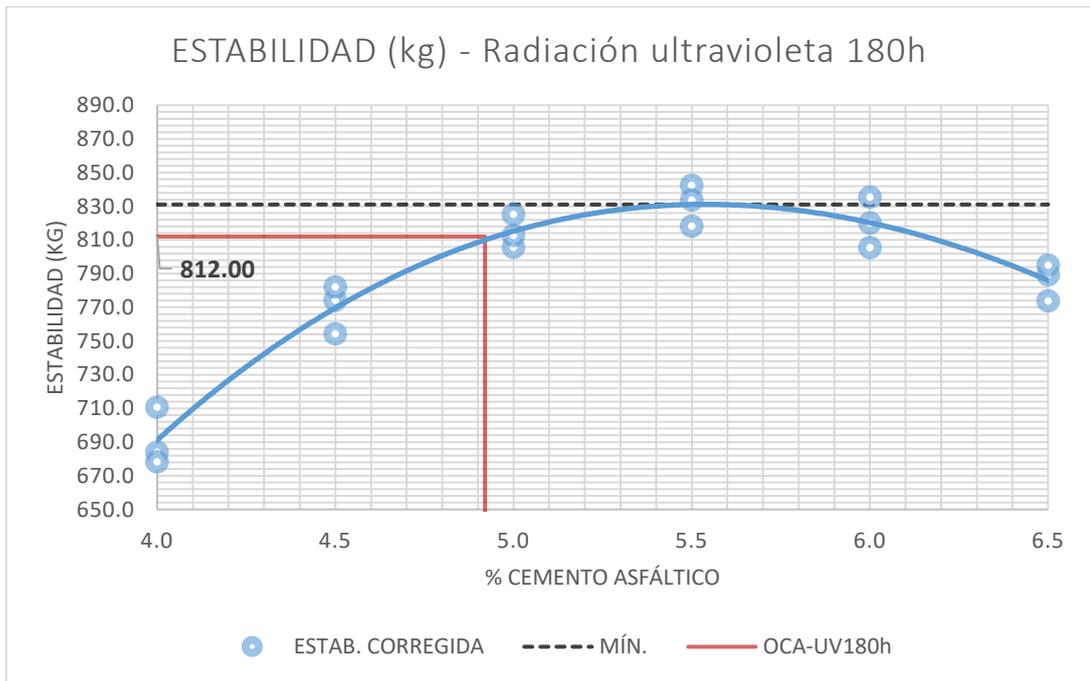


Figura 29
 Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%) – Radiación ultravioleta 180h
 Fuente: Elaboración propia

En estas propiedades, se puede observar que al 4% de vacíos se da al 4.92% de cemento asfáltico, siendo este el óptimo contenido para la

mezcla asfáltica densa envejecida con radiación ultravioleta por 180 horas. La estabilidad es de 812.0 kg, menor al de la muestra control de 1047.3 kg y menor al mínimo permitido por la norma de 831.077 kg, y una fluencia de 3.93 mm que resulta mayor al flujo de 2.94 mm de la muestra control y superior al máximo flujo de la norma de 3.5 mm. En la tabla 32, se presentan los resultados resumen de las propiedades mecánicas que corresponden al óptimo contenido de cemento asfáltico para la mezcla asfáltica densa envejecida con radiación solar por 180 horas.

Tabla 32
Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico del 4.92% - Muestra envejecida 180h

Óptimo Contenido de Cemento Asfáltico – Muestra envejecida 180h		
Propiedades	Resultados	Especificaciones
Cemento asfáltico (%)	4.92	---
Vacíos (%)	4.0	Entre 3% y 5%
Flujo (mm)	3.93	Entre 2 mm y 3.5 mm
Estabilidad corregida (kg)	812.0	Mín. 831.07 kg

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.5. Resumen de resultados

Tras los resultados de los ensayos de Marshall realizados a los diferentes tipos de muestra, se obtuvo el óptimo contenido de cemento asfáltico para cada uno, con estos óptimos porcentajes se elaboraron nuevas briquetas, tres por cada tiempo de envejecimiento con radiación ultravioleta.

En la figura 30, se presentan los porcentajes de vacíos que se dan en las muestras envejecidas por 45, 90, 135 y 180 horas con radiación ultravioleta en comparación de la muestra control. El comportamiento de la propiedad de vacíos de aire muestra valores constantes, ya que según la metodología Marshall se determina el óptimo contenido de cemento asfáltico para el 4% de vacíos.

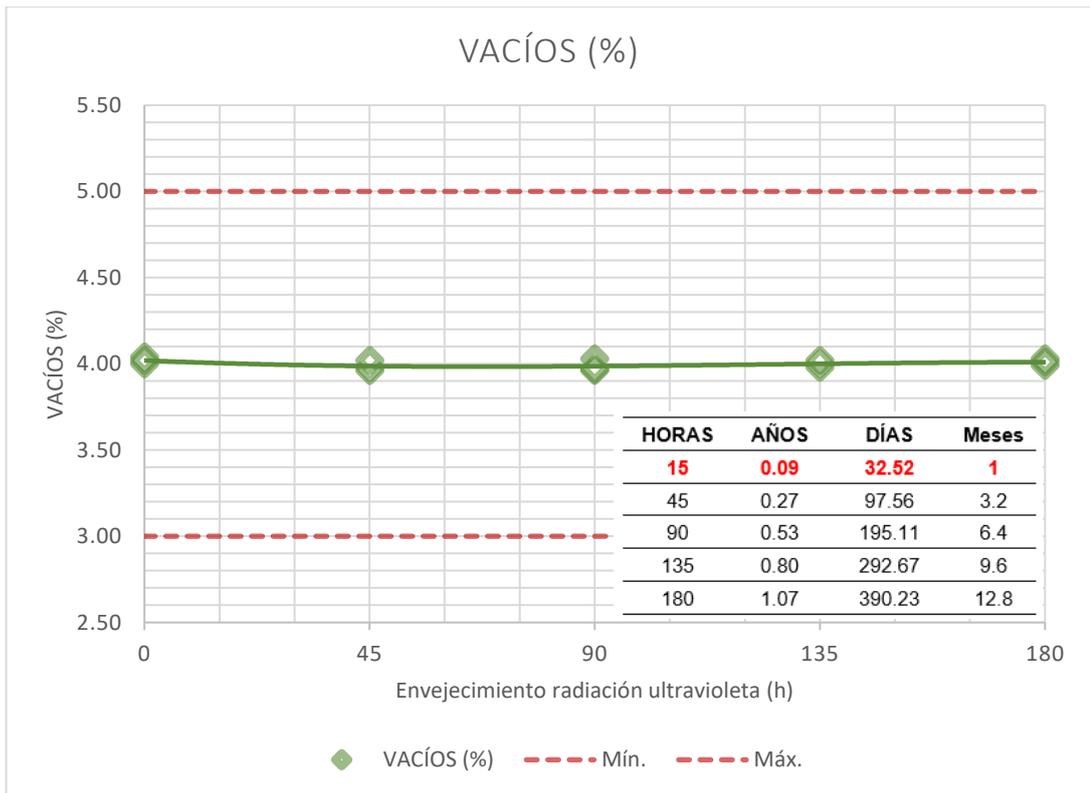


Figura 30
Vacíos (%) por envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 31, se presentan los resultados de fluencia que se dan en las muestras envejecidas por 45, 90, 135 y 180 horas con radiación ultravioleta en comparación de la muestra control. El comportamiento de la propiedad de fluencia muestra que al exponer las muestras por más tiempo a radiación ultravioleta la fluencia aumenta, llegando a variar en 30.1% a partir de la muestra control.

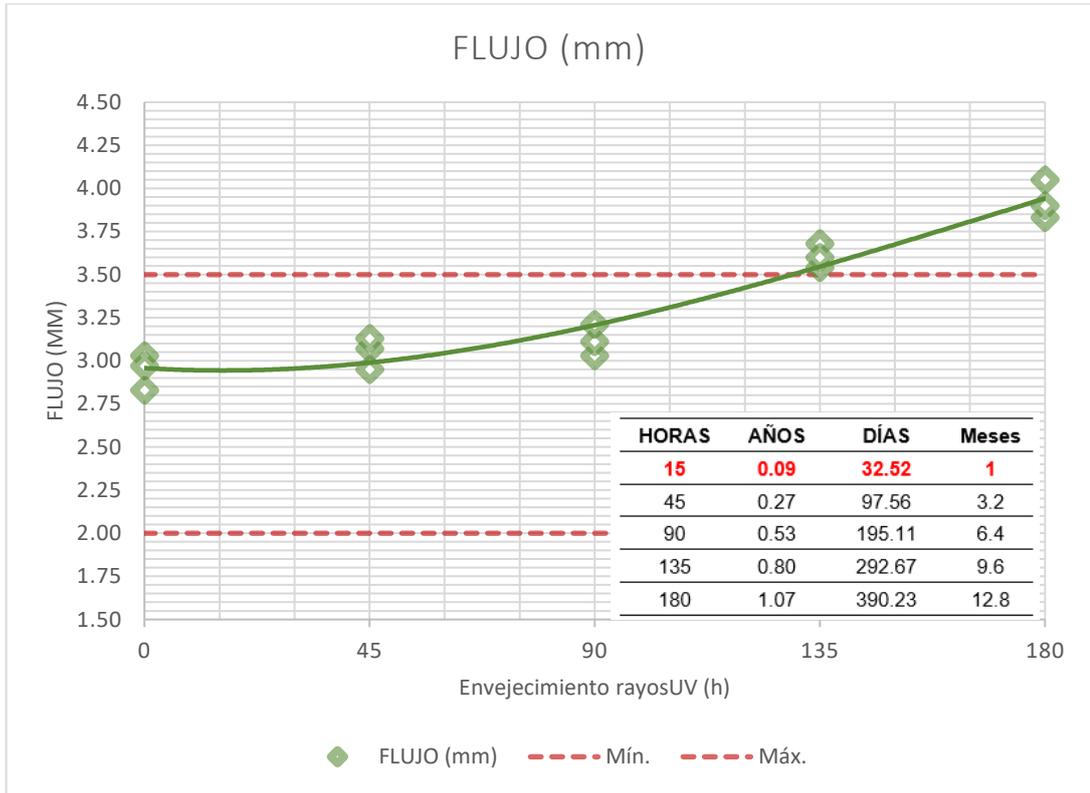


Figura 31
Flujo (mm) por envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 32, se presentan los resultados de estabilidad que se dan en las muestras envejecidas por 45, 90, 135 y 180 horas con radiación ultravioleta en comparación de la muestra control. El comportamiento de la propiedad de estabilidad muestra que al exponer las muestras por más tiempo a radiación ultravioleta la estabilidad desciende, llegando a reducirse en un 23.3% en relación con la muestra control.

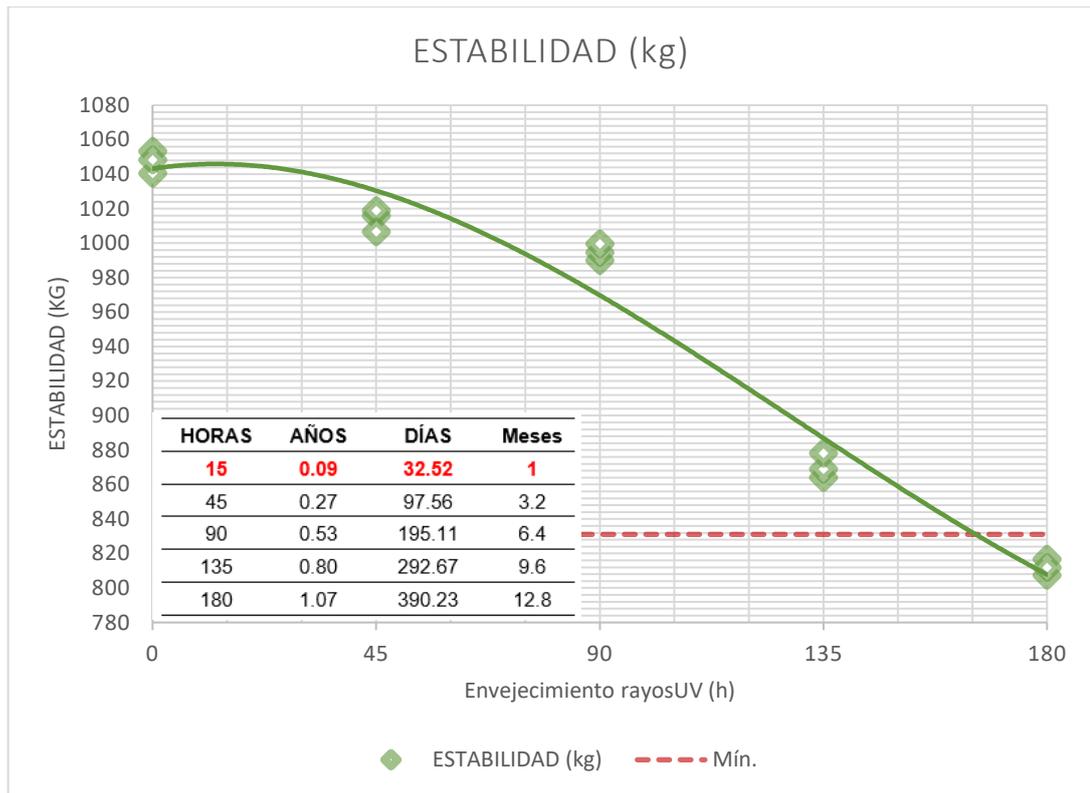


Figura 32
Estabilidad (kg) por envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)

Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Ensayo de pulverizado de agua a presión – OE3

Para determinar la pérdida del material por desgaste en la cohesión de la mezcla asfáltica densa expuesta a precipitaciones, se planteó emplear la normativa IS-1725 y adaptarla a briquetas diseñadas por el método Marshall. Para ello se elaboraron tres muestras para cada distancia a la que se realizará la prueba para cada presión a la que saldrá el agua pulverizada, estas muestras fueron elaboradas con el óptimo contenido de cemento asfáltico resultante de la muestra control de 5.45%.

4.4.3.1. Pulverizado de agua a 0.5 kPa de presión

En la tabla 33, se presentan los resultados de pérdida de masa por pulverizado de agua a una presión de 0.5 kPa a 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm de distancia entre la biqueta resultante y el punto de salida del agua.

Tabla 33
Porcentaje de pérdida a una presión de agua de 0.5 kPa

Muestra	Pérdida (%) a 0.5 kPa de Presión			
	Distancia (cm)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Pérdida (%)
M(pv)-091	18	1249.8	1249.6	0.01
M(pv)-092	18	1248.6	1248.6	0.00
M(pv)-093	18	1247.9	1247.8	0.01
M(pv)-094	15	1248.2	1247.2	0.08
M(pv)-095	15	1249.3	1248.7	0.05
M(pv)-096	15	1249.8	1248.9	0.07
M(pv)-097	10	1246.6	1244.8	0.15
M(pv)-098	10	1247.6	1246.3	0.11
M(pv)-099	10	1249.7	1248.2	0.12
M(pv)-100	5	1250.5	1248.0	0.20
M(pv)-101	5	1245.2	1242.2	0.24
M(pv)-102	5	1249.6	1246.8	0.23

Fuente: Elaboración propia

En la figura 33, se presenta el comportamiento del porcentaje de pérdida ante la variación de las distancias a las que se colocó la briqueta a 0.5 kPa de presión, observándose que cuanto más lejos se dé la presión de 0.5 kPa la pérdida es muy baja, del 0.01% y 0%, y que los mayores porcentajes de pérdida se dan a los 5 cm llegando a perder el 0.24% de material.

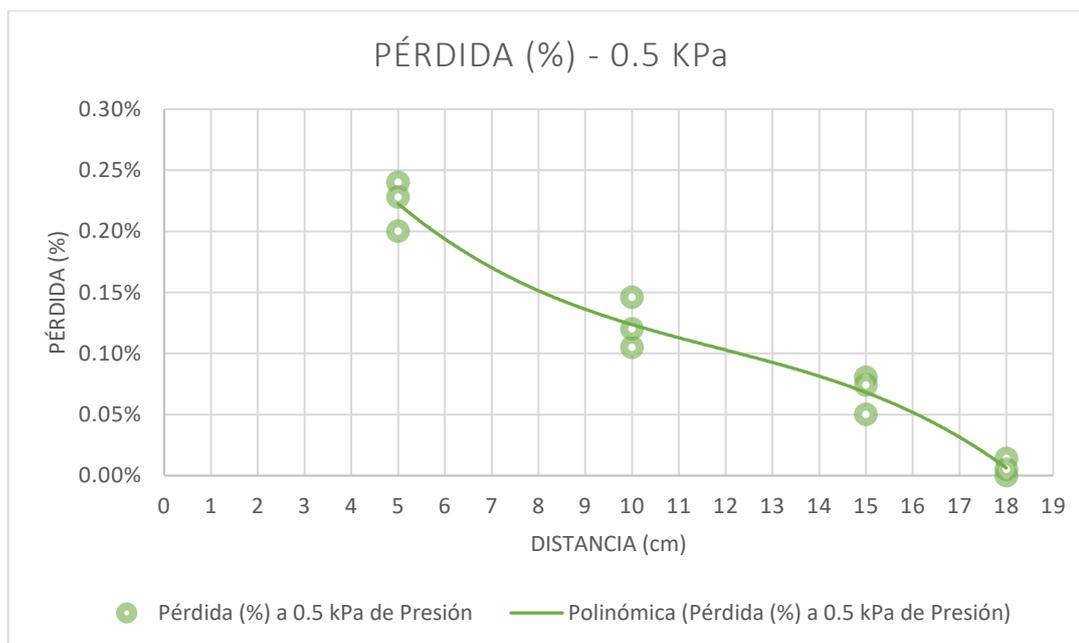


Figura 33
Pérdida (%) a 0.5 kPa de presión por pulverizado

Fuente: Elaboración propia

4.4.3.2. Pulverizado de agua a 1.0 kPa de presión

En la tabla 34, se presentan los resultados de pérdida de masa por pulverizado de agua a una presión de 1.0 kPa a 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm de distancia entre la briqueita resultante y el punto de salida del agua.

Tabla 34
Porcentaje de pérdida a una presión de agua de 1.0 kPa

Muestra	Pérdida (%) a 1.0 kPa de Presión			
	Distancia (cm)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Pérdida (%)
M(pv)-103	18	1248.3	1247.4	0.07
M(pv)-104	18	1243.4	1243.3	0.01
M(pv)-105	18	1242.4	1242.4	0.00
M(pv)-106	15	1246.9	1245.0	0.15
M(pv)-107	15	1248.5	1246.9	0.13
M(pv)-108	15	1248.2	1247.2	0.08
M(pv)-109	10	1244.5	1241.8	0.22
M(pv)-110	10	1246.5	1242.5	0.32
M(pv)-111	10	1242.2	1238.8	0.27

M(pv)-112	5	1246.9	1239.9	0.56
M(pv)-113	5	1248.1	1241.5	0.53
M(pv)-114	5	1244.5	1236.6	0.64

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 34, se presenta el comportamiento del porcentaje de pérdida ante la variación de las distancias a las que se colocó la briqueta a 1.0 kPa de presión, observándose que cuanto más lejos se dé la presión de 1.0 kPa la pérdida es muy baja, del 0.01% y 0%, y que los mayores porcentajes de pérdida se dan a los 5 cm llegando a perder el 0.64% de material.

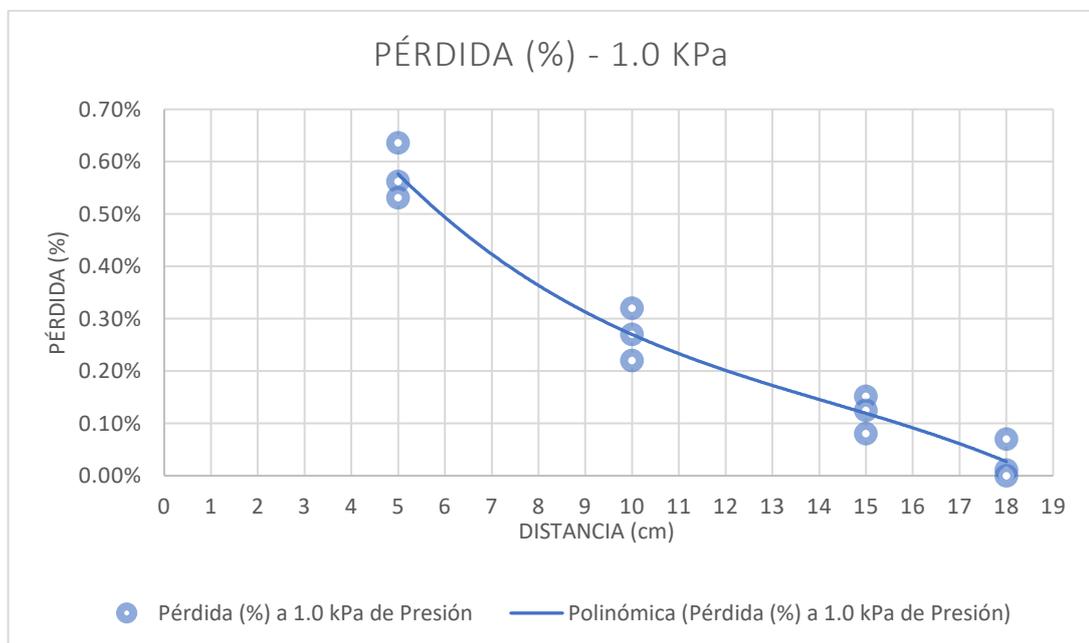


Figura 34
Pérdida (%) a 1.0 kPa de presión por pulverizado

Fuente: *Elaboración propia*

4.4.3.3. Pulverizado de agua a 1.5 kPa de presión

En la tabla 35, se presentan los resultados de pérdida de masa por pulverizado de agua a una presión de 1.5 kPa a 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm de distancia entre la briqueta resultante y el punto de salida del agua.

Tabla 35
Porcentaje de pérdida a una presión de agua de 1.5 kPa

Muestra	Pérdida (%) a 1.5 kPa de Presión			
	Distancia (cm)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Pérdida (%)
M(pv)-115	18	1247.2	1245.8	0.11
M(pv)-116	18	1247.7	1246.5	0.09
M(pv)-117	18	1249.0	1246.6	0.19
M(pv)-118	15	1249.0	1241.2	0.63
M(pv)-119	15	1245.8	1239.9	0.48
M(pv)-120	15	1245.8	1240.8	0.40
M(pv)-121	10	1250.5	1233.3	1.38
M(pv)-122	10	1249.9	1234.3	1.25
M(pv)-123	10	1250.3	1231.7	1.49
M(pv)-124	5	1246.1	1211.1	2.81
M(pv)-125	5	1250.7	1213.7	2.96
M(pv)-126	5	1247.1	1215.2	2.55

Fuente: Elaboración propia

En la figura 35, se presenta el comportamiento del porcentaje de pérdida ante la variación de las distancias a las que se colocó la briqueta a 1.5 kPa de presión, observándose que cuanto más lejos se dé la presión de 1.5 kPa la pérdida es baja, llegando a perder el 0.09% de material, y que los mayores porcentajes de pérdida se dan a los 5 cm llegando a perder el 2.96% de material.

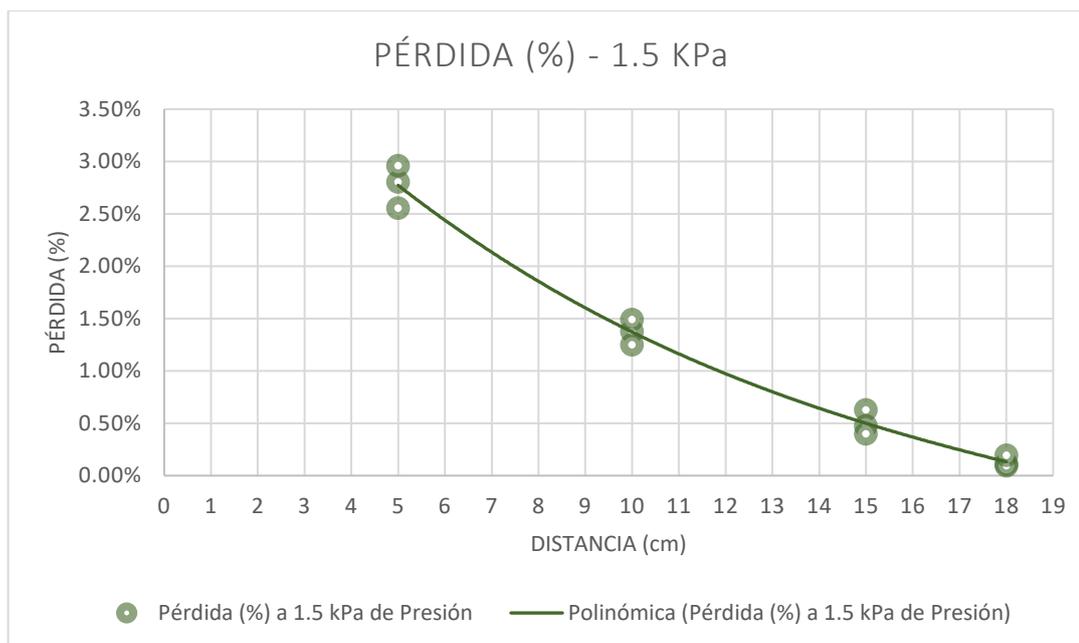


Figura 35
Pérdida (%) a 1.5 kPa de presión por pulverizado

Fuente: Elaboración propia

4.4.3.4. Pulverizado de agua a 2.0 kPa de presión

En la tabla 36, se presentan los resultados de pérdida de masa por pulverizado de agua a una presión de 2.0 kPa a 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm de distancia entre la briqueita resultante y el punto de salida del agua.

Tabla 36
Porcentaje de pérdida a una presión de agua de 2.0 kPa

Muestra	Pérdida (%) a 2.0 kPa de Presión			
	Distancia (cm)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Pérdida (%)
M(pv)-127	18	1249.8	1248.7	0.09
M(pv)-128	18	1248.2	1246.9	0.11
M(pv)-129	18	1249.3	1247.1	0.18
M(pv)-130	15	1244.8	1234.8	0.80
M(pv)-131	15	1245.7	1236.5	0.74
M(pv)-132	15	1246.4	1240.5	0.47
M(pv)-133	10	1244.7	1216.5	2.26
M(pv)-134	10	1250.0	1228.1	1.75
M(pv)-135	10	1246.2	1221.7	1.96

M(pv)-136	5	1248.3	1188.7	4.78
M(pv)-137	5	1244.7	1180.4	5.16
M(pv)-138	5	1248.5	1190.9	4.61

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36, se presenta el comportamiento del porcentaje de pérdida ante la variación de las distancias a las que se colocó la briqueta a 2.0 kPa de presión, observándose que cuanto más lejos se dé la presión de 2.0 kPa la pérdida es baja, llegando a perder el 0.09% de material, y que los mayores porcentajes de pérdida se dan a los 5 cm llegando a perder el 5.16% de material.

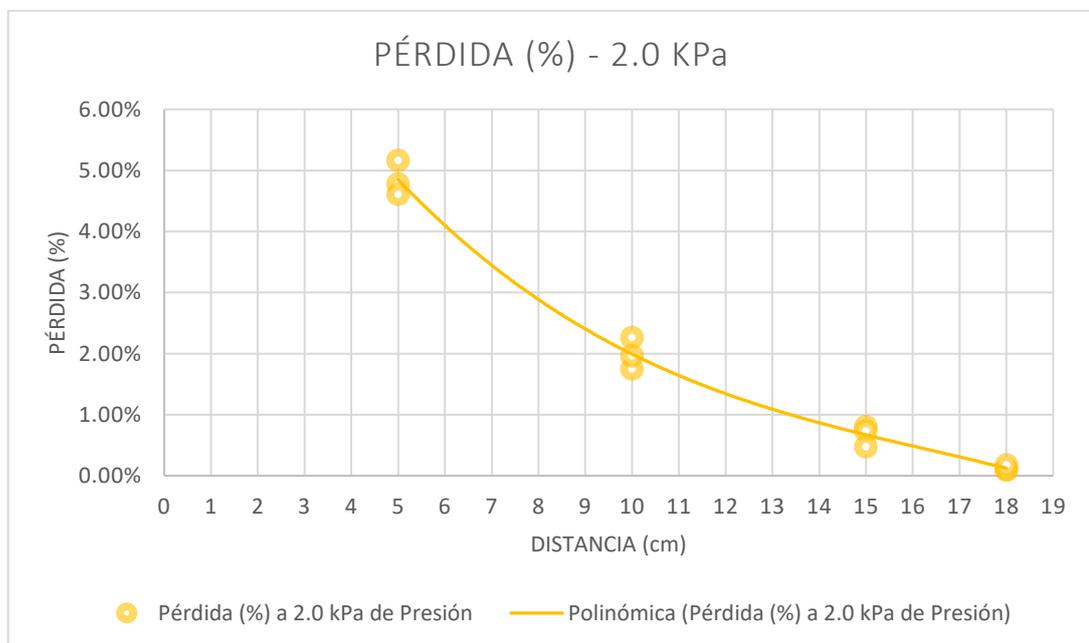


Figura 36
Pérdida (%) a 2.0 kPa de presión por pulverizado

Fuente: Elaboración propia

4.4.3.5. Pulverizado de agua a 2.15 kPa de presión

En la tabla 37, se presentan los resultados de pérdida de masa por pulverizado de agua a una presión de 2.15 kPa a 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm de distancia entre la briqueta resultante y el punto de salida del agua.

Tabla 37
Porcentaje de pérdida a una presión de agua de 2.15 kPa

Muestra	Pérdida (%) a 2.15 kPa de Presión			
	Distancia (cm)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Pérdida (%)
M(pv)-139	18	1250.7	1248.2	0.20
M(pv)-140	18	1246.1	1244.2	0.16
M(pv)-141	18	1246.8	1243.6	0.26
M(pv)-142	15	1247.2	1237.8	0.75
M(pv)-143	15	1249.6	1239.3	0.82
M(pv)-144	15	1249.4	1236.2	1.06
M(pv)-145	10	1249.4	1215.7	2.70
M(pv)-146	10	1246.2	1207.5	3.11
M(pv)-147	10	1250.4	1214.6	2.86
M(pv)-148	5	1246.8	1171.0	6.08
M(pv)-149	5	1250.9	1171.4	6.35
M(pv)-150	5	1250.5	1168.7	6.54

Fuente: Elaboración propia

En la figura 37, se presenta el comportamiento del porcentaje de pérdida ante la variación de las distancias a las que se colocó la briqueta a 2.15 kPa de presión, observándose que cuanto más lejos se dé la presión de 2.15 kPa la pérdida es baja, llegando a perder el 0.26% de material, y que los mayores porcentajes de pérdida se dan a los 5 cm llegando a perder el 6.54% de material.

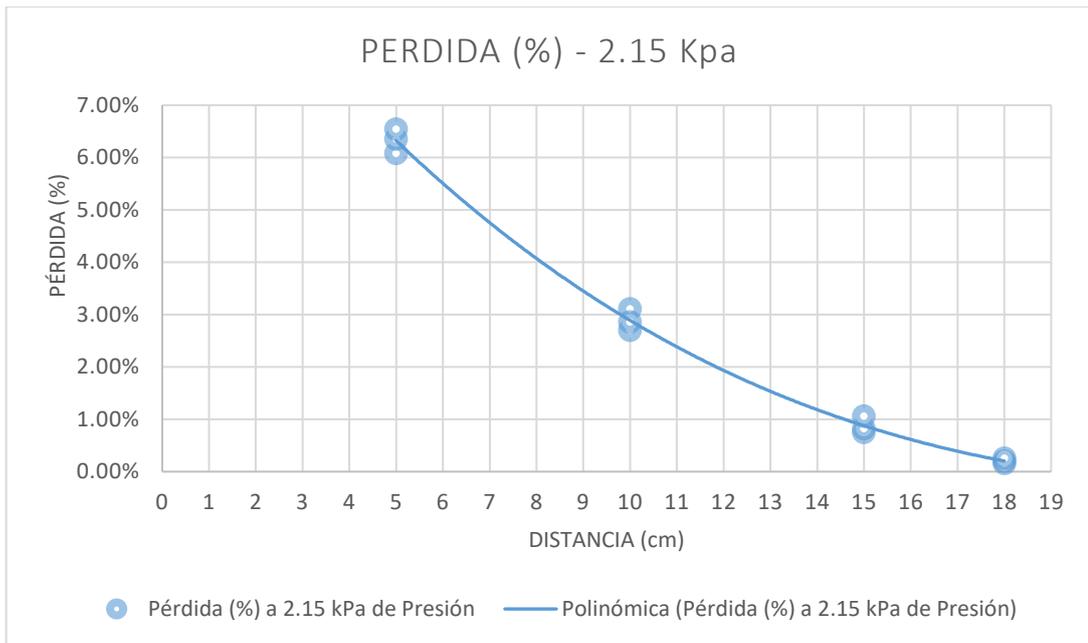


Figura 37
Pérdida (%) a 2.15 kPa de presión por pulverizado
Fuente: Elaboración propia

4.4.3.6. Resumen de resultados

Finalmente, tras realizar el análisis de pulverizado con agua a distintas presiones, se determina a que valor de presión se consideran los resultados como “aptos”, esto se determinará según el porcentaje de pérdida de material que debe ser máximo del 5%.

En la figura 38, se presenta la gráfica resumen de los ensayos de pulverizado, indicándose con una línea roja que porcentaje de pérdida de material se da a 5 cm de distancia para 2 kPa de presión. Obteniendo un porcentaje máximo permitido de 4.80%.

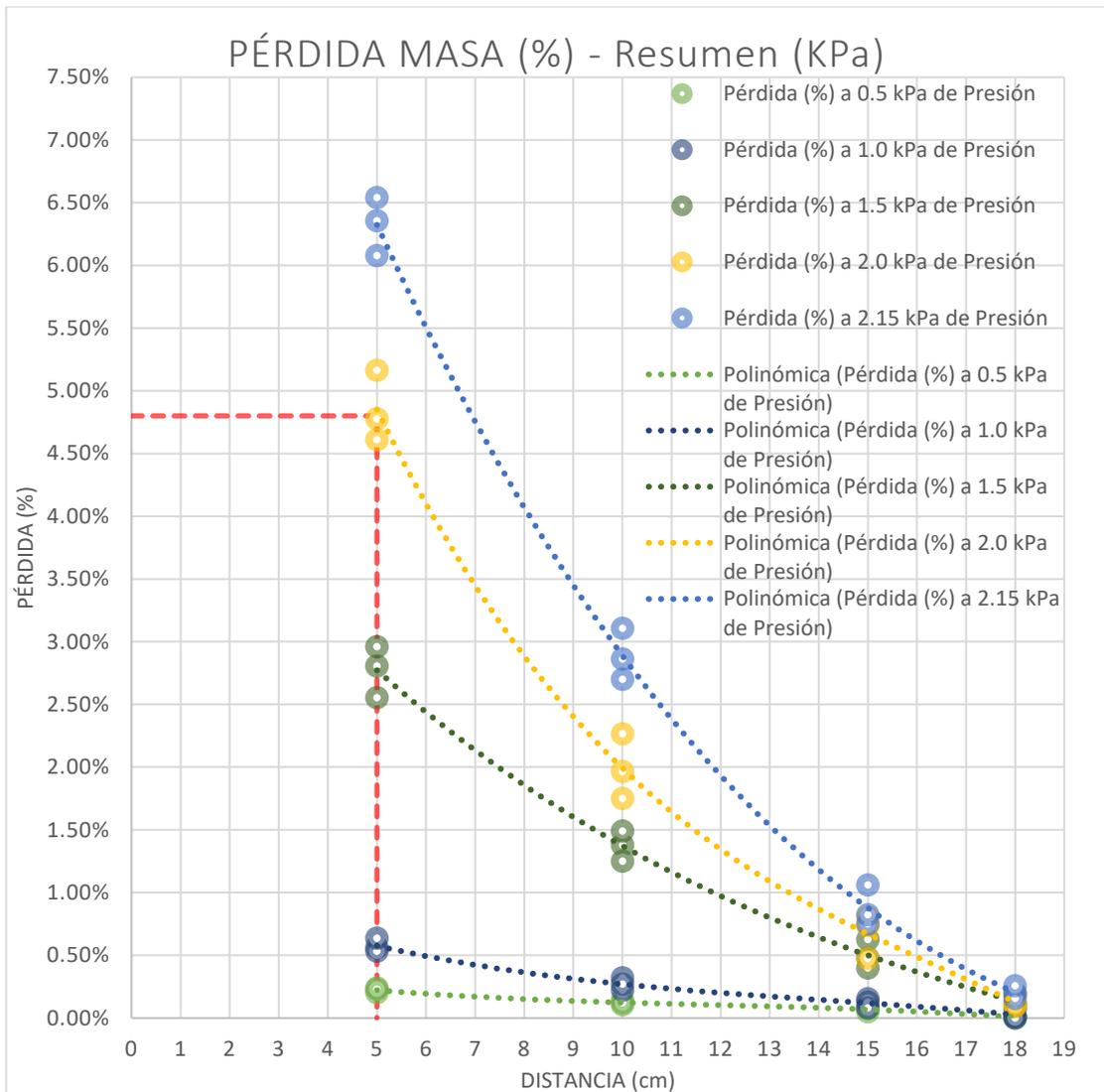


Figura 38
 Resumen de pérdida (%) para el pulverizado de agua a diferentes presiones
 Fuente: Elaboración propia

4.5. Análisis de resultados – OG

Para determinar el efecto del intemperismo respecto a las propiedades mecánicas, se elaboraron briquetas con el óptimo contenido de cemento asfáltico de 5.45% y fueron expuestas radiación solar a distintas horas que sean equivalentes a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 meses de exposición a radiación ultravioleta para luego registrar los resultados de fluencia y de estabilidad y correlacionarlos con los niveles de radiación registrados por cada mes en el último año, desde agosto del año 2021 a julio del año 2022.

En la tabla 38, se presentan los resultados de estabilidad y flujo para los 12 meses de exposición a radiación ultravioleta, y se presentan los registros de radiación por cada mes del último año.

Tabla 38
Propiedades de estabilidad y flujo ante niveles de radiación en un año

Ítem	Año-Mes	Meses	RADIACIÓN (kWh/m ² /día)	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)
1	2022-01	Ene	5.8449	961.1	3.43
2		Ene		957.6	3.64
3		Ene		949.3	3.55
4	2022-02	Feb	5.4127	1010.4	2.95
5		Feb		1001.6	3.02
6		Feb		1004.5	3.10
7	2022-03	Mar	5.3549	1015.8	3.07
8		Mar		1018.9	2.95
9		Mar		1006.7	3.13
10	2022-04	Abr	5.4407	1005.3	3.16
11		Abr		1002.0	3.28
12		Abr		994.6	3.09
13	2022-05	May	4.9859	1025.5	3.07
14		May		1030.5	2.88
15		May		1021.1	3.04
16	2022-06	Jun	5.0545	990.0	3.03
17		Jun		994.5	3.11
18		Jun		999.6	3.21
19	2022-07	Jul	5.3171	962.7	3.24
20		Jul		950.3	3.32
21		Jul		956.2	3.45
22	2021-08	Ago	5.4332	917.9	3.33
23		Ago		910.4	3.48
24		Ago		907.1	3.54
25	2021-09	Set	5.6749	864.0	3.68
26		Set		868.8	3.54
27		Set		878.1	3.60
28	2021-10	Oct	5.9242	838.2	3.80
29		Oct		846.9	3.73
30		Oct		849.6	3.93
31	2021-11	Nov	6.0207	817.8	3.81

32		Nov		827.1	3.96
33		Nov		823.4	4.01
34	2021-12	Dic		807.4	4.05
35		Dic	6.0632	816.7	3.83
36		Dic		811.8	3.90

Fuente: Elaboración propia

En la figura 39, se presenta la gráfica de los niveles de radiación y resultados de estabilidad por mes, en los que se observa que para el nivel más bajo de radiación que se da en el quinto mes de 4.9859 kWh/m²/día, la estabilidad llega a 1021.1 kg. Mientras que para el nivel más alto de radiación que se da en el último mes de 6.0632 kWh/m²/día, la estabilidad desciende a 807.4 kg. En general, se puede deducir que a cuanto más radiación están expuestas las briquetas diseñadas, pierde resistencia por lo que la estabilidad decae en 21.65%.

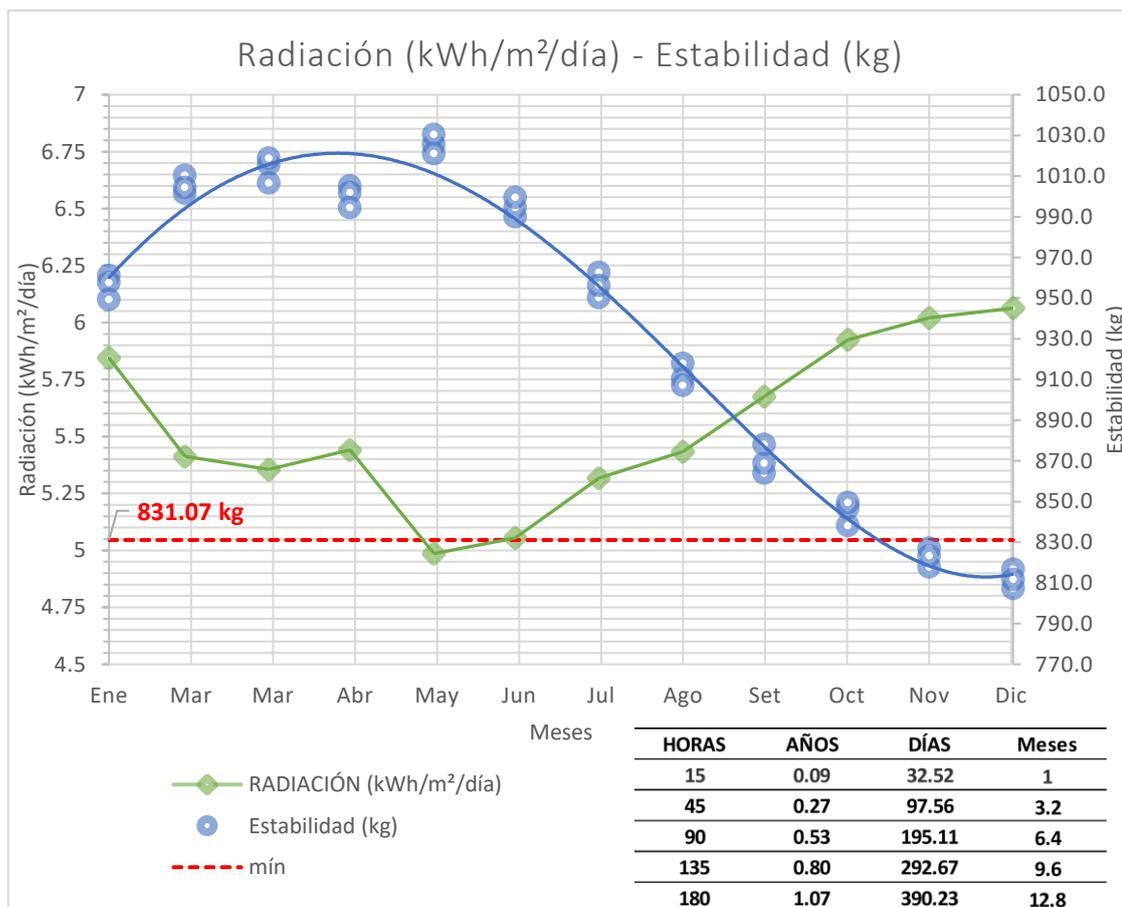


Figura 39
Estabilidad (kg) ante niveles de Radiación ultravioleta (kWh/m²/día) en un año

Fuente: Elaboración propia

En la figura 40, se presenta la gráfica de los niveles de radiación y resultados de fluencia por mes, en los que se observa que para el nivel más bajo de radiación que se da en el quinto mes de 4.9859 kWh/m²/día, el flujo llega a 2.88 mm. Mientras que para el nivel más alto de radiación que se da en el último mes de 6.0632 kWh/m²/día, el flujo aumenta a 4.05 mm, pasando el límite de fluencia según el diseño Marshall. En general, se puede deducir que a cuanta más radiación están expuestas las briquetas diseñadas, la deformación aumenta por lo que el flujo aumenta en 28.9%.

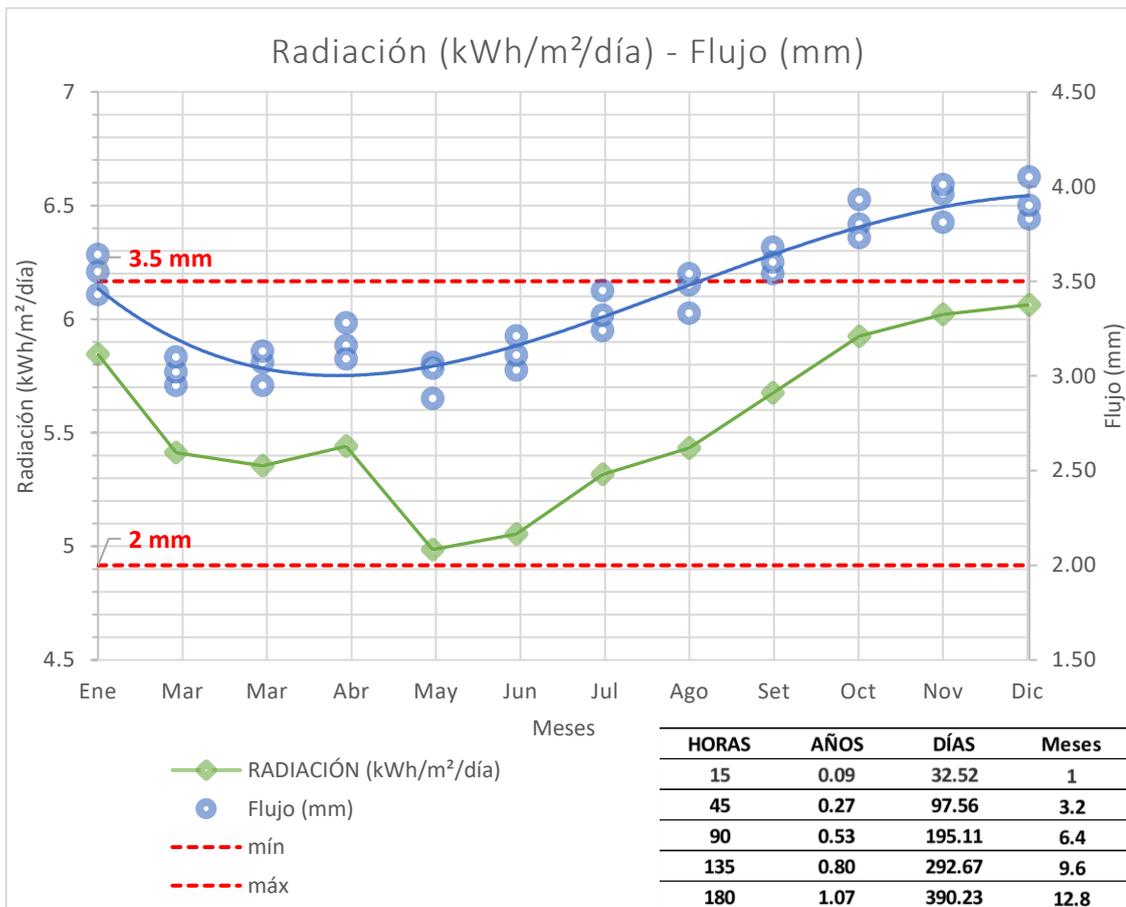


Figura 40
 Flujo (mm) ante niveles de Radiación ultravioleta (kWh/m²/día) para un año
 Fuente: Elaboración propia

Para determinar el efecto del intemperismo respecto al daño inducido por humedad mediante el pulverizado de agua a presión, se elaboraron briquetas con el óptimo contenido de cemento asfáltico de 5.45% y fueron sometidas a pulverizado por agua a presión según las equivalencias de precipitación con las presiones de ensayo, así se registró los resultados del

ensayo para correlacionarlos con los niveles de precipitación registrados por cada mes en el último año, desde agosto del año 2021 a julio del año 2022.

En la tabla 39, se presentan los resultados de pérdida porcentual de material para 12 meses en los que se sometieron las briquetas al ensayo de pulverizado de agua a presión, además, se presentan los registros de precipitación por cada mes del último año.

Tabla 39
Porcentaje de pérdida de material ante niveles de precipitación en un año

Ítem	Año-Mes	Meses	PRECIPITACIÓN (mm/día)	Pulverizado de agua a presión
37	2022-01	Ene	4.08	6.49
38		Ene		6.26
39		Ene		6.33
40	2022-02	Feb	5.60	6.78
41		Feb		6.85
42		Feb		7.04
43	2022-03	Mar	3.82	6.16
44		Mar		6.04
45		Mar		6.35
46	2022-04	Abr	2.31	5.45
47		Abr		5.33
48		Abr		5.16
49	2022-05	May	0.56	4.61
50		May		4.95
51		May		4.77
52	2022-06	Jun	0.11	4.82
53		Jun		4.65
54		Jun		4.95
55	2022-07	Jul	0.48	4.64
56		Jul		4.78
57		Jul		4.85
58	2021-08	Ago	0.63	4.99
59		Ago		4.83
60		Ago		4.62
61	2021-09	Set	0.96	5.01
62		Set		4.89
63		Set		5.11

64	2021-10	Oct	1.70	5.26
65		Oct		5.38
66		Oct		5.18
67	2021-11	Nov	2.32	5.29
68		Nov		5.51
69		Nov		5.35
70	2021-12	Dic	1.68	5.14
71		Dic		5.31
72		Dic		5.38

Fuente: Elaboración propia

En la figura 41, se presenta la gráfica de los niveles de precipitación y resultados de pérdida de material por mes, en los que se observa que para el nivel más bajo de precipitación que se da en el sexto mes de 0.11 mm/día, el pulverizado de agua a presión llega a 4.95. Mientras que para el nivel más alto de precipitación que se da en el segundo mes de 5.60 mm/día, el pulverizado de agua a presión aumenta a 7.04. En general, se puede deducir que el pulverizado de agua a presión varía según el nivel de precipitación a las que se encuentran expuestas las briquetas diseñadas, por lo que se produce pérdida de material en los niveles más altos de precipitación, así como se dan las menores pérdidas de material en los niveles más bajos de precipitación.

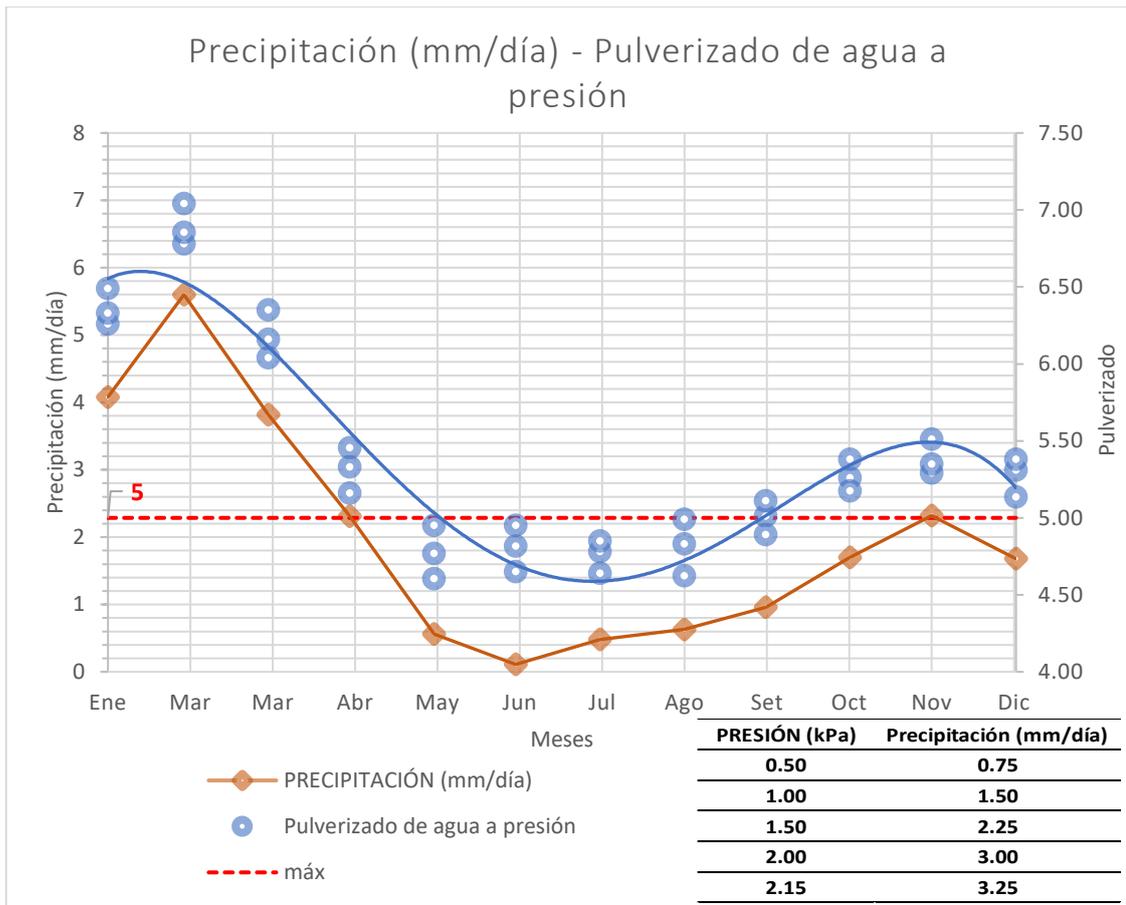


Figura 41

Pulverizado de agua a presión ante niveles de Precipitación (mm) para un año

Fuente: Elaboración propia

En la figura 42, se presenta la gráfica de la radiación ultravioleta y la gráfica de los niveles de precipitación que se dan en un año, observándose que el nivel más alto de radiación se dio en el mes de diciembre, con un valor de 6.06 kWh/m²/día, pero que la precipitación en ese mes no fue tan alta con un valor de 1.68 mm/día. Mientras que el nivel de precipitación más alta se dio en el mes de febrero con un valor de 5.60 mm/día, siendo el nivel de radiación de ese mes de 5.41 kWh/m²/día.

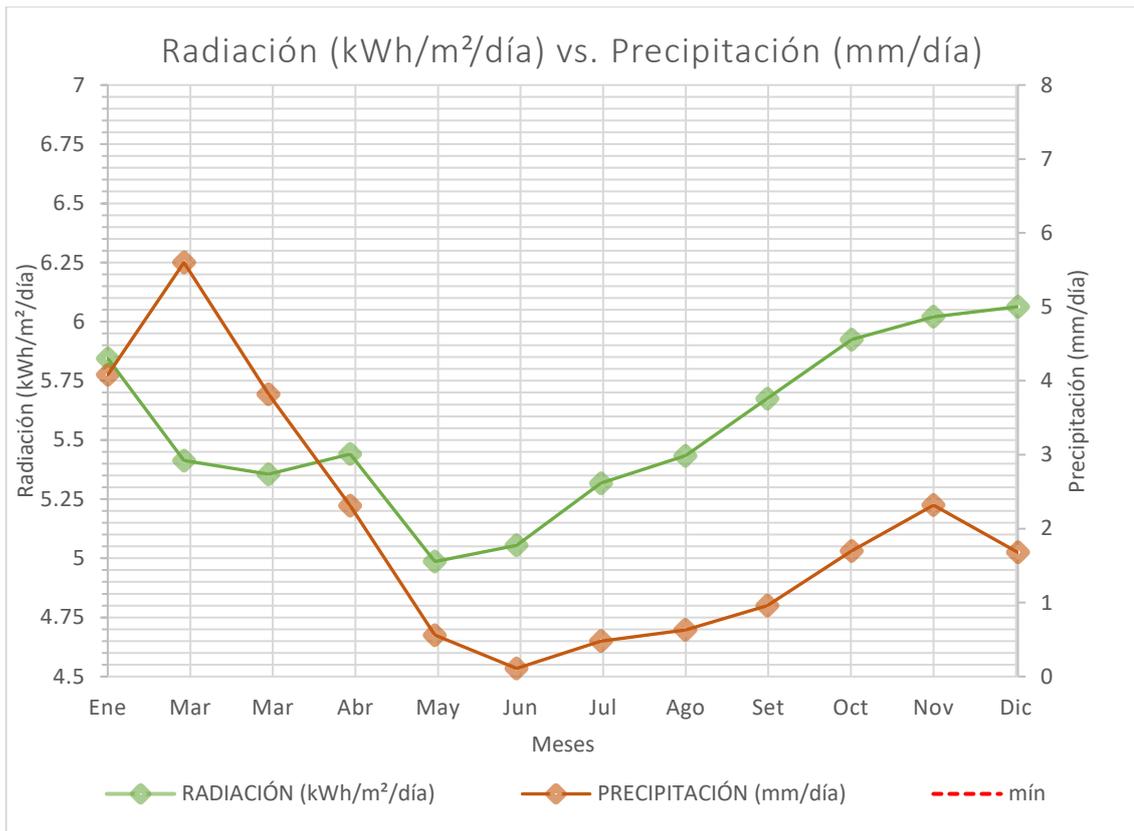


Figura 42
Radiación ultravioleta (kWh/m²/día) vs. Precipitación (mm/día)
 Fuente: Elaboración propia

En la figura 43, se presenta la gráfica de la estabilidad y la gráfica del pulverizado de agua a presión resultantes para 12 meses de evaluación con equivalencias en horas y en distancias, respectivamente. Observándose una relación inversamente proporcional entre las variables, la estabilidad de la mezcla asfáltica diseñada disminuye al estar expuesta por más tiempo a radiación ultravioleta, así como se ve que el pulverizado aumenta y sobrepasa el máximo permitido de 5%.

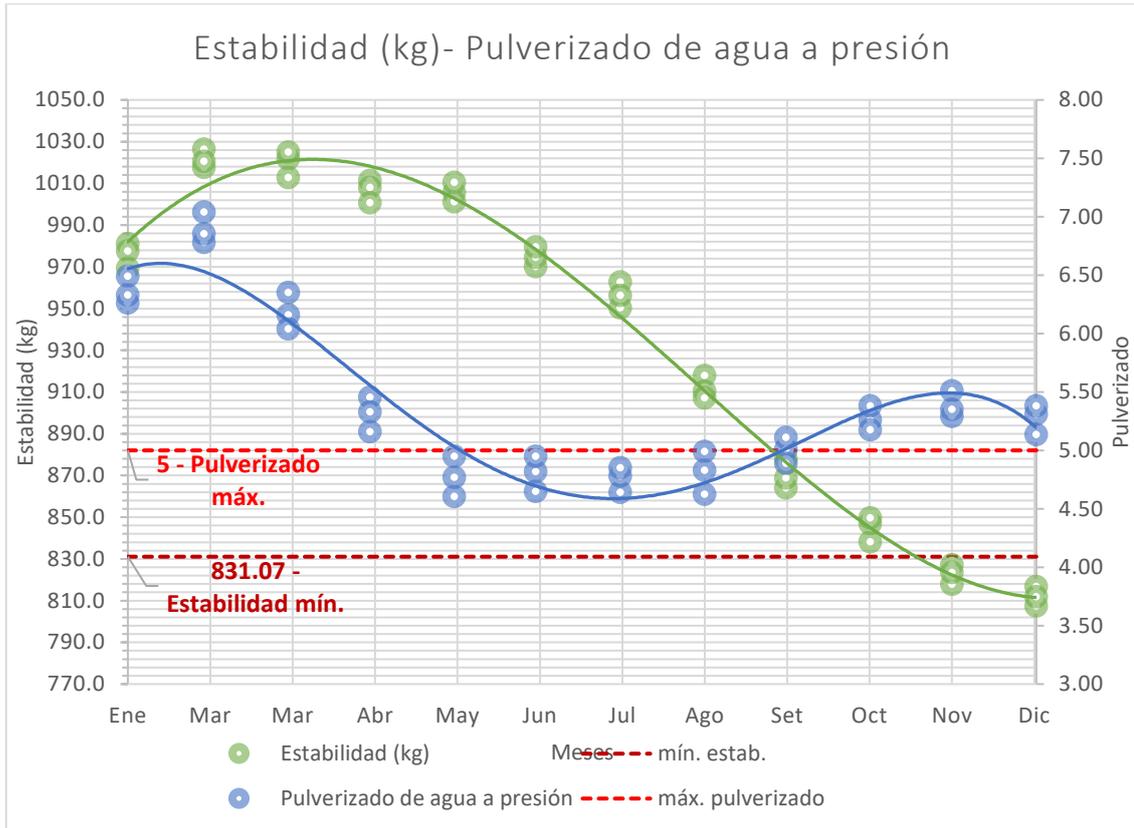


Figura 43
Estabilidad (kg)- Pulverizado de agua a presión
 Fuente: Elaboración propia

4.6. Análisis estadístico

a. Flujo (mm) ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Descriptivos:

Tras realizar el análisis estadístico de los resultados del ensayo de Marshall realizado en laboratorio en muestras de mezclas asfálticas densas envejecidas con radiación ultravioleta, se muestra en la siguiente tabla los datos de descriptivos del resultado de fluencia a diferentes tiempos de envejecimiento de 45 horas, 90 horas, 135 horas y 180 horas en comparación de la muestra control (0 horas) para una data total de 15.

Tabla 40
Descriptivos de flujo (mm) ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Descriptivos

Envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)		Estadístico	Error estándar	
Flujo (mm)	0	Media	2,9433	,05925
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,6884	
		Límite superior	3,1983	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		2,9700	
	Varianza		,011	
	Desviación estándar		,10263	
	Mínimo		2,83	
	Máximo		3,03	
	Rango		,20	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,090	1,225
	Curtosis		.	
	45		Media	3,0500
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	2,8223	
		Límite superior	3,2777	
Media recortada al 5%		.		
Mediana		3,0700		
Varianza		,008		
Desviación estándar		,09165		
Mínimo		2,95		
Máximo		3,13		
Rango		,18		
Rango intercuartil		.		
Asimetría		-,935	1,225	
Curtosis		.		
90			Media	3,1167
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,8926	
		Límite superior	3,3407	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,1100	
	Varianza		,008	
	Desviación estándar		,09018	
	Mínimo		3,03	
	Máximo		3,21	
	Rango		,18	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,331	1,225
	Curtosis		.	
	135		Media	3,6067
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	3,4322	
		Límite superior	3,7811	
Media recortada al 5%		.		
Mediana		3,6000		
Varianza		,005		
Desviación estándar		,07024		
Mínimo		3,54		
Máximo		3,68		

	Rango		,14	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,423	1,225
	Curtosis		.	.
180	Media		3,9267	,06489
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,6475	
		Límite superior	4,2059	
	Media recortada al 5%		.	.
	Mediana		3,9000	
	Varianza		,013	
	Desviación estándar		,11240	
	Mínimo		3,83	
	Máximo		4,05	
	Rango		,22	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,008	1,225
	Curtosis		.	.

Fuente: Elaboración propia

Prueba de normalidad:

Para el análisis de la hipótesis respecto al flujo de las muestras de mezclas asfálticas densas envejecidas con radiación ultravioleta resultantes del ensayo de Marshall a diferentes horas de exposición, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: Los resultados del flujo de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta ante diferentes horas de exposición provienen de una distribución normal.

Ha: Los resultados del flujo de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta ante diferentes horas de exposición no provienen de una distribución normal.

Para el nivel de significancia de 0.05, se determina aceptar o rechazar la hipótesis nula tras evaluar si las significancias resultantes de la prueba de normalidad con menores o mayores a 0.05. En la siguiente tabla de pruebas de normalidad, se observa que todos los valores de significancia por Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que los resultados del flujo de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta ante diferentes horas de exposición provienen de una distribución normal.

Tabla 41
Prueba de normalidad de flujo (mm) ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Pruebas de normalidad

	Envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Flujo (mm)	0	,269	3	.	,949	3	,567
	45	,253	3	.	,964	3	,637
	90	,196	3	.	,996	3	,878
	135	,204	3	.	,993	3	,843
	180	,260	3	.	,958	3	,605

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Correlación:

Tras analizar la hipótesis de la fluencia, se concluyó que se acepta la hipótesis nula y que los resultados provienen de una distribución normal, por ello el análisis de correlación se realiza por Pearson. En la siguiente tabla, se presentan los resultados de correlación donde se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.930 interpretando que existe una correlación positiva perfecta.

Tabla 42
Correlaciones de flujo (mm) ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Correlaciones

		Envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)	Flujo (mm)
Envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)	Correlación de Pearson	1	,930**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	15	15
Flujo (mm)	Correlación de Pearson	,930**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	15	15

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

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de dispersión:

La gráfica de dispersión de puntos se presenta para determinar la relación entre las variables en estudio, donde el patrón de los puntos nos indica que aumenta el flujo al aumentar las horas a la que es expuesta con radiación ultravioleta la mezcla asfáltica densa diseñada, y la línea de ajuste cúbica

presenta un valor de R2 de 0.938, interpretando así que la relación entre las variables es alta.

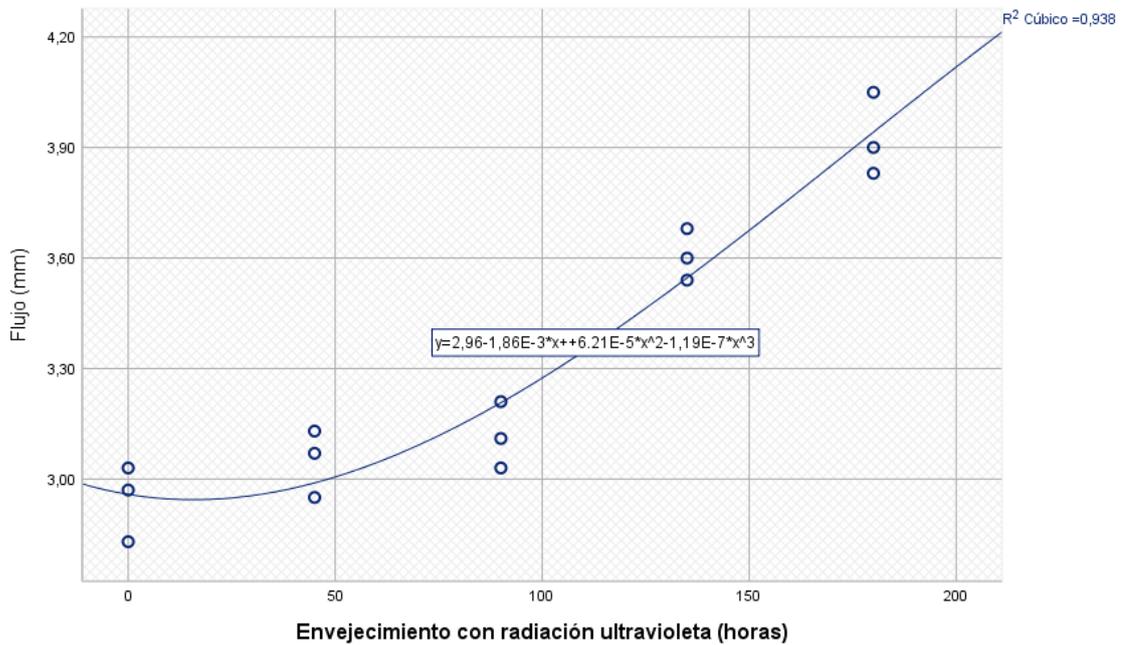


Figura 44

Dispersión de puntos de flujo (mm) ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Fuente: Elaboración propia

b. Estabilidad (kg) ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Descriptivos:

Tras realizar el análisis estadístico de los resultados del ensayo de Marshall realizado en laboratorio en muestras de mezclas asfálticas densas envejecidas con radiación ultravioleta, se muestra en la siguiente tabla los datos de descriptivos del resultado de estabilidad a diferentes tiempos de envejecimiento de 45 horas, 90 horas, 135 horas y 180 horas en comparación de la muestra control (0 horas) para una data total de 15.

Tabla 43

Descriptivos de estabilidad (kg) ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Descriptivos

Envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)		Estadístico	Error estándar
Estabilidad (kg)	0	Media	1047,300
		95% de intervalo de confianza para la media	
		Limite inferior	1031,257
		Limite superior	1063,343
		Media recortada al 5%	.
		Mediana	1048,300
		Varianza	41,710

	Desviación estándar		6,4583	
	Mínimo		1040,4	
	Máximo		1053,2	
	Rango		12,8	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,680	1,225
	Curtosis		.	
45	Media		1013,800	3,6611
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	998,048	
		Límite superior	1029,552	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1015,800	
	Varianza		40,210	
	Desviación estándar		6,3411	
	Mínimo		1006,7	
	Máximo		1018,9	
	Rango		12,2	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,278	1,225
	Curtosis		.	
90	Media		994,700	2,7731
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	982,768	
		Límite superior	1006,632	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		994,500	
	Varianza		23,070	
	Desviación estándar		4,8031	
	Mínimo		990,0	
	Máximo		999,6	
	Rango		9,6	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,187	1,225
	Curtosis		.	
135	Media		870,300	4,1388
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	852,492	
		Límite superior	888,108	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		868,800	
	Varianza		51,390	
	Desviación estándar		7,1687	
	Mínimo		864,0	
	Máximo		878,1	
	Rango		14,1	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,900	1,225
	Curtosis		.	
180	Media		811,967	2,6860
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	800,410	
		Límite superior	823,523	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		811,800	
	Varianza		21,643	
	Desviación estándar		4,6522	
	Mínimo		807,4	
	Máximo		816,7	
	Rango		9,3	
	Rango intercuartil		.	

Asimetría	,161	1,225
Curtosis	.	.

Fuente: *Elaboración propia*

Prueba de normalidad:

Para el análisis de la hipótesis respecto a la estabilidad de las muestras de mezclas asfálticas densas envejecidas con radiación ultravioleta resultantes del ensayo de Marshall a diferentes horas de exposición, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: Los resultados de la estabilidad de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta ante diferentes horas de exposición provienen de una distribución normal.

Ha: Los resultados de la estabilidad de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta ante diferentes horas de exposición no provienen de una distribución normal.

Para el nivel de significancia de 0.05, se determina aceptar o rechazar la hipótesis nula tras evaluar si las significancias resultantes de la prueba de normalidad con menores o mayores a 0.05. En la siguiente tabla de pruebas de normalidad, se observa que todos los valores de significancia por Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que los resultados de la estabilidad de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta ante diferentes horas de exposición provienen de una distribución normal.

Tabla 44
Prueba de normalidad de estabilidad (kg) ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Pruebas de normalidad

	Envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad (kg)	0	,228	3	.	,982	3	,743
	45	,290	3	.	,925	3	,472
	90	,183	3	.	,999	3	,931
	135	,250	3	.	,967	3	,652
	180	,181	3	.	,999	3	,941

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: *Elaboración propia*

Correlación:

Tras analizar la hipótesis de la estabilidad, se concluyó que se acepta la hipótesis nula y que los resultados provienen de una distribución normal, por ello el análisis de correlación se realiza por Pearson. En la siguiente tabla, se presentan los resultados de correlación donde se obtuvo un coeficiente de correlación de -0.959 interpretando que existe una correlación negativa perfecta.

Tabla 45
Correlaciones de estabilidad (kg) ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Correlaciones

		Envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)	Estabilidad (kg)
Envejecimiento con radiación ultravioleta (horas)	Correlación de Pearson	1	-,959**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	15	15
Estabilidad (kg)	Correlación de Pearson	-,959**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	15	15

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

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de dispersión:

La gráfica de dispersión de puntos se presenta para determinar la relación entre las variables en estudio, donde el patrón de los puntos nos indica que descende la estabilidad al aumentar las horas a la que es expuesta con radiación ultravioleta la mezcla asfáltica densa diseñada, y la línea de ajuste cúbica presenta un valor de R2 de 0.968, interpretando así que la relación entre las variables es alta.

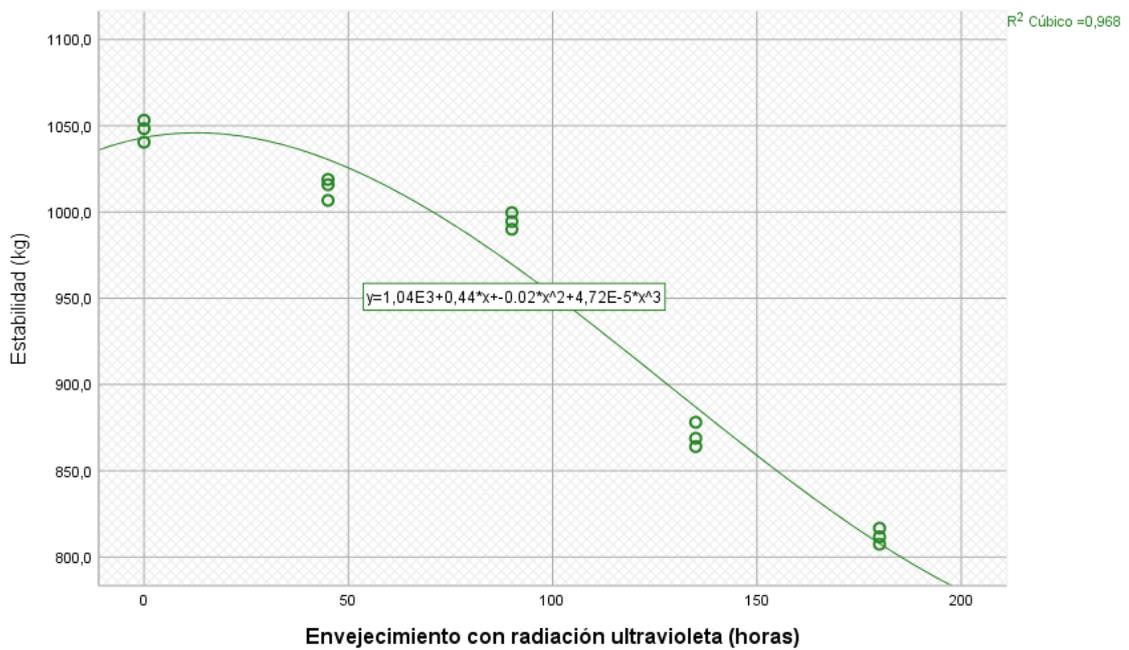


Figura 45
 Dispersión de puntos de estabilidad (kg) ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Fuente: Elaboración propia

c. Pérdida (%) ante pulverizado de agua a presión

Descriptivos:

Tras realizar el análisis estadístico de los resultados del ensayo de pérdida de material por pulverizado de agua a presión realizado en laboratorio en muestras de mezclas asfálticas densas, se muestra en la siguiente tabla los datos de descriptivos del resultado de porcentaje de pérdidas a las distancias de 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm y agrupándolas según la presión aplicada, de 1.5 kPa, 2.0 kPa y 2.15 kPa para una data total de 12 para cada grupo.

Tabla 46
 Descriptivos de pérdida (%) a diferentes distancias a presiones de 1.5 kPa, 2.0 kPa y 2.15 kPa

Descriptivos

	Distancia (cm)		Estadístico	Error estándar	
Pérdida (%) - 1.5 kPa de presión	5,00	Media	2,7730	,11829	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,2640	
			Límite superior	3,2820	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		2,8050	
		Varianza		,042	

		Desviación estándar		,20488	
		Mínimo		2,55	
		Máximo		2,96	
		Rango		,41	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-,686	1,225
		Curtosis		.	
10,00		Media		1,3723	,06932
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,0741	
			Límite superior	1,6706	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		1,3770	
		Varianza		,014	
		Desviación estándar		,12007	
		Mínimo		1,25	
		Máximo		1,49	
		Rango		,24	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-,175	1,225
		Curtosis		.	
15,00		Media		,5000	,06671
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,2130	
			Límite superior	,7870	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		,4750	
		Varianza		,013	
		Desviación estándar		,11555	
		Mínimo		,40	
		Máximo		,63	
		Rango		,23	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		,928	1,225
		Curtosis		.	
18,00		Media		,1323	,03068
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,0003	
			Límite superior	,2644	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		,1100	
		Varianza		,003	
		Desviación estándar		,05314	
		Mínimo		,09	
		Máximo		,19	
		Rango		,10	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		1,557	1,225
		Curtosis		.	
Pérdida (%) - 2.0 kPa de presión	5,00	Media		4,8493	,16391
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,1441	
			Límite superior	5,5546	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		4,7750	
		Varianza		,081	
		Desviación estándar		,28389	
		Mínimo		4,61	

		Máximo	5,16	
		Rango	,55	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	1,097	1,225
		Curtosis	.	
10,00		Media	1,9923	,14910
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,3508
			Límite superior	2,6339
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	1,9630	
		Varianza	,067	
		Desviación estándar	,25825	
		Mínimo	1,75	
		Máximo	2,26	
		Rango	,51	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	,505	1,225
		Curtosis	.	
15,00		Media	,6700	,10038
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,2381
			Límite superior	1,1019
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	,7350	
		Varianza	,030	
		Desviación estándar	,17386	
		Mínimo	,47	
		Máximo	,80	
		Rango	,33	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	-1,447	1,225
		Curtosis	.	
18,00		Media	,1257	,02697
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,0096
			Límite superior	,2417
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	,1060	
		Varianza	,002	
		Desviación estándar	,04672	
		Mínimo	,09	
		Máximo	,18	
		Rango	,09	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	1,559	1,225
		Curtosis	.	
Pérdida (%) - 2.15 kPa de presión	5,00	Media	6,3233	,13482
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5,7432
			Límite superior	6,9034
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	6,3540	
		Varianza	,055	
		Desviación estándar	,23352	
		Mínimo	6,08	
		Máximo	6,54	
		Rango	,46	

Ho: Los resultados de pérdida de material de las muestras ensayadas a diferentes distancias y agrupándolas según la presión aplicada de 1.5 kPa, 2.0 kPa y 2.15 kPa provienen de una distribución normal.

Ha: Los resultados de pérdida de material de las muestras ensayadas a diferentes distancias y agrupándolas según la presión aplicada de 1.5 kPa, 2.0 kPa y 2.15 kPa no provienen de una distribución normal.

Para el nivel de significancia de 0.05, se determina aceptar o rechazar la hipótesis nula tras evaluar si las significancias resultantes de la prueba de normalidad con menores o mayores a 0.05. En la siguiente tabla de pruebas de normalidad, se observa que todos los valores de significancia por Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que los resultados de pérdida de material de las muestras ensayadas a diferentes distancias y agrupándolas según la presión aplicada de 1.5 kPa, 2.0 kPa y 2.15 kPa provienen de una distribución normal.

Tabla 47
Prueba de normalidad de pérdida (%) a diferentes distancias a presiones de 1.5 kPa, 2.0 kPa y 2.15 kPa

Pruebas de normalidad

	Distancia (cm)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pérdida (%) - 1.5 kPa de presión	5,00	,229	3	.	,982	3	,741
	10,00	,182	3	.	,999	3	,936
	15,00	,252	3	.	,965	3	,640
	18,00	,330	3	.	,868	3	,289
Pérdida (%) - 2.0 kPa de presión	5,00	,270	3	.	,949	3	,563
	10,00	,212	3	.	,990	3	,812
	15,00	,312	3	.	,895	3	,370
	18,00	,330	3	.	,867	3	,287
Pérdida (%) - 2.15 kPa de presión	5,00	,219	3	.	,987	3	,782
	10,00	,222	3	.	,985	3	,768
	15,00	,300	3	.	,913	3	,427
	18,00	,206	3	.	,993	3	,837

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Correlación:

Tras analizar la hipótesis del porcentaje de pérdida de material, se concluyó que se acepta la hipótesis nula y que los resultados provienen de una distribución normal, por ello el análisis de correlación se realiza por Pearson. En la siguiente tabla, se presentan los resultados de correlación para la

pérdida de material resultante del ensayo de pulverizado de agua a 1.5 kPa de presión donde se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.54 interpretando que existe una correlación positiva considerable.

Tabla 48
Correlaciones de pérdida (%) a diferentes distancias a presión de 1.5 kPa

Correlaciones

		Distancia (cm)	Pérdida (%) - 1.5 kPa de presión
Distancia (cm)	Correlación de Pearson	1	-.981**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	36	12
Pérdida (%) - 1.5 kPa de presión	Correlación de Pearson	-.981**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

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

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla, se presentan los resultados de correlación para la pérdida de material resultante del ensayo de pulverizado de agua a 2.0 kPa de presión donde se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.54 interpretando que existe una correlación positiva considerable.

Tabla 49
Correlaciones de pérdida (%) a diferentes distancias a presión de 2.0 kPa

Correlaciones

		Distancia (cm)	Pérdida (%) - 2.0 kPa de presión
Distancia (cm)	Correlación de Pearson	1	-.967**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	36	12
Pérdida (%) - 2.0 kPa de presión	Correlación de Pearson	-.967**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

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

Fuente: Elaboración propia

Y en la siguiente tabla, se presentan los resultados de correlación para la pérdida de material resultante del ensayo de pulverizado de agua a 2.15 kPa de presión donde se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.54 interpretando que existe una correlación positiva considerable.

Tabla 50
Correlaciones de pérdida (%) a diferentes distancias a presión de 2.15 kPa

Correlaciones

		Distancia (cm)	Pérdida (%) - 2.15 kPa de presión
Distancia (cm)	Correlación de Pearson	1	-.978**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	36	12
Pérdida (%) - 2.15 kPa de presión	Correlación de Pearson	-.978**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

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

Fuente: *Elaboración propia*

Diagrama de dispersión:

La gráfica de dispersión de puntos se presenta para determinar la relación entre las variables en estudio, donde el patrón de los puntos nos indica que a mayor distancia de aplicación del pulverizado de agua la pérdida de material es más baja, además se observa que a mayor presión del agua mayor es la pérdida de material, y la línea de ajuste cúbica al aplicar la presión de 1.5 kPa presenta un valor de R2 de 0.2, la línea de ajuste cúbica al aplicar la presión de 2.0 kPa presenta un valor de R2 de 0.2 y la línea de ajuste cúbica al aplicar la presión de 2.15 kPa presenta un valor de R2 de 0.2, interpretando así que la relación entre las variables es baja.

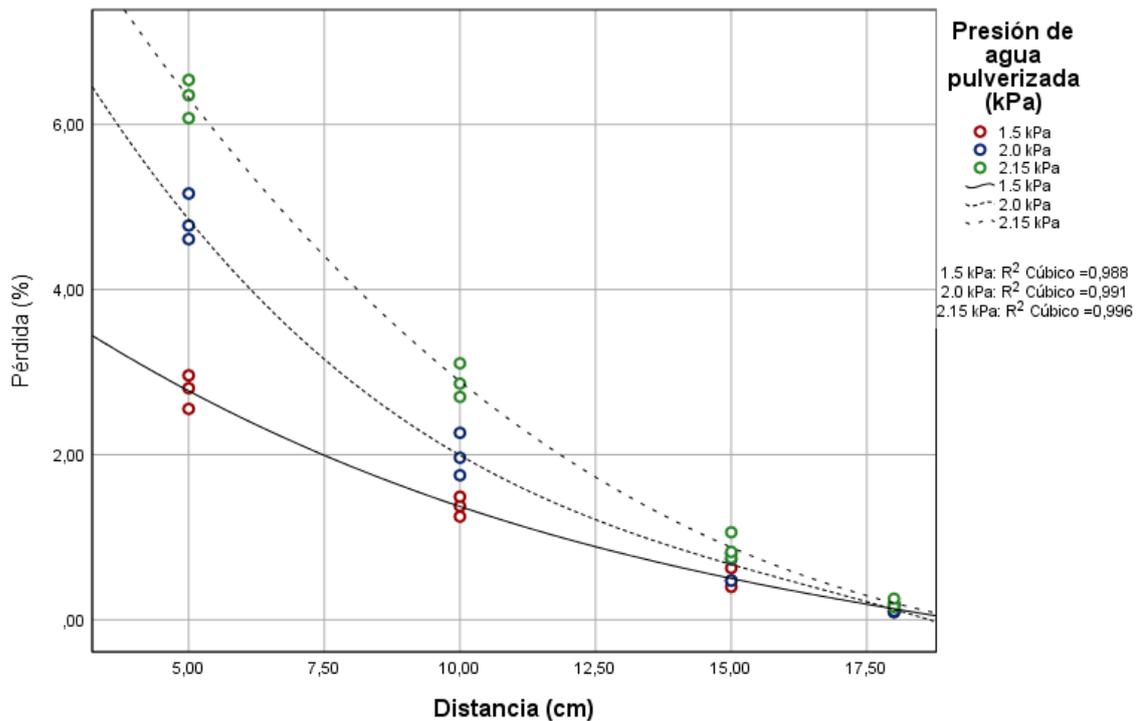


Figura 46
 Dispersión de pérdida (%) a diferentes distancias a presiones de 1.5 kPa, 2.0 kPa y 2.15 kPa

Fuente: Elaboración propia

d. Estabilidad (kg) por mes al exponer las muestras con radiación ultravioleta

Descriptivos:

Tras realizar el análisis estadístico de los resultados del ensayo de Marshall realizado en laboratorio en muestras de mezclas asfálticas densas envejecidas con radiación ultravioleta, se muestra en la siguiente tabla los datos de descriptivos del resultado de estabilidad resultantes por mes en un año de exposición a radiación solar para una data total de 36.

Tabla 51
 Descriptivos de estabilidad (kg) por mes ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Descriptivos

Meses		Estadístico	Error estándar
Estabilidad (kg)	Ene	Media	956,000
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	940,945
		Límite superior	971,055
	Media recortada al 5%		
	Mediana		957,600
	Varianza		36,730

	Desviación estándar		6,0605	
	Mínimo		949,3	
	Máximo		961,1	
	Rango		11,8	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,105	1,225
	Curtosis		.	.
Feb	Media		1005,500	2,5891
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	994,360	
		Límite superior	1016,640	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1004,500	
	Varianza		20,110	
	Desviación estándar		4,4844	
	Mínimo		1001,6	
	Máximo		1010,4	
	Rango		8,8	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,954	1,225
	Curtosis		.	.
Mar	Media		1013,800	3,6611
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	998,048	
		Límite superior	1029,552	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1015,800	
	Varianza		40,210	
	Desviación estándar		6,3411	
	Mínimo		1006,7	
	Máximo		1018,9	
	Rango		12,2	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,278	1,225
	Curtosis		.	.
Abr	Media		1000,633	3,1635
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	987,022	
		Límite superior	1014,245	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1002,000	
	Varianza		30,023	
	Desviación estándar		5,4794	
	Mínimo		994,6	
	Máximo		1005,3	
	Rango		10,7	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,053	1,225
	Curtosis		.	.
May	Media		1025,700	2,7154
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1014,017	
		Límite superior	1037,383	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1025,500	
	Varianza		22,120	
	Desviación estándar		4,7032	
	Mínimo		1021,1	

	Máximo		1030,5	
	Rango		9,4	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,191	1,225
	Curtosis		.	
Jun	Media		994,700	2,7731
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	982,768	
		Límite superior	1006,632	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		994,500	
	Varianza		23,070	
	Desviación estándar		4,8031	
	Mínimo		990,0	
	Máximo		999,6	
	Rango		9,6	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,187	1,225
	Curtosis		.	
Jul	Media		956,400	3,5810
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	940,992	
		Límite superior	971,808	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		956,200	
	Varianza		38,470	
	Desviación estándar		6,2024	
	Mínimo		950,3	
	Máximo		962,7	
	Rango		12,4	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,145	1,225
	Curtosis		.	
Ago	Media		911,800	3,1953
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	898,052	
		Límite superior	925,548	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		910,400	
	Varianza		30,630	
	Desviación estándar		5,5344	
	Mínimo		907,1	
	Máximo		917,9	
	Rango		10,8	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,065	1,225
	Curtosis		.	
Set	Media		870,300	4,1388
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	852,492	
		Límite superior	888,108	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		868,800	
	Varianza		51,390	
	Desviación estándar		7,1687	
	Mínimo		864,0	
	Máximo		878,1	
	Rango		14,1	

			Rango intercuartil	.	.
			Asimetría	,900	1,225
			Curtosis	.	.
Oct			Media	844,900	3,4395
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	830,101
				Límite superior	859,699
			Media recortada al 5%	.	.
			Mediana	846,900	.
			Varianza	35,490	.
			Desviación estándar	5,9573	.
			Mínimo	838,2	.
			Máximo	849,6	.
			Rango	11,4	.
			Rango intercuartil	.	.
			Asimetría	-1,340	1,225
			Curtosis	.	.
Nov			Media	822,767	2,7033
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	811,135
				Límite superior	834,398
			Media recortada al 5%	.	.
			Mediana	823,400	.
			Varianza	21,923	.
			Desviación estándar	4,6822	.
			Mínimo	817,8	.
			Máximo	827,1	.
			Rango	9,3	.
			Rango intercuartil	.	.
			Asimetría	-,598	1,225
			Curtosis	.	.
Dic			Media	811,967	2,6860
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	800,410
				Límite superior	823,523
			Media recortada al 5%	.	.
			Mediana	811,800	.
			Varianza	21,643	.
			Desviación estándar	4,6522	.
			Mínimo	807,4	.
			Máximo	816,7	.
			Rango	9,3	.
			Rango intercuartil	.	.
			Asimetría	,161	1,225
			Curtosis	.	.

Fuente: Elaboración propia

Prueba de normalidad:

Para el análisis de la hipótesis respecto a la estabilidad de las muestras de mezclas asfálticas densas envejecidas con radiación ultravioleta resultantes del ensayo de Marshall para cada mes por un año, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: Los resultados de la estabilidad de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta para cada mes por un año de exposición provienen de una distribución normal.

Ha: Los resultados de la estabilidad de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta para cada mes por un año de exposición no provienen de una distribución normal.

Para el nivel de significancia de 0.05, se determina aceptar o rechazar la hipótesis nula tras evaluar si las significancias resultantes de la prueba de normalidad con menores o mayores a 0.05. En la siguiente tabla de pruebas de normalidad, se observa que todos los valores de significancia por Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que los resultados de la estabilidad de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta para cada mes por un año de exposición provienen de una distribución normal.

Tabla 52
Prueba de normalidad de estabilidad (kg) por mes ante envejecimiento con radiación

Pruebas de normalidad

Meses	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad (kg) Ene	,271	3	.	,948	3	,559
Feb	,255	3	.	,963	3	,629
Mar	,290	3	.	,925	3	,472
Abr	,265	3	.	,953	3	,584
May	,184	3	.	,999	3	,930
Jun	,183	3	.	,999	3	,931
Jul	,180	3	.	,999	3	,947
Ago	,267	3	.	,952	3	,578
Set	,250	3	.	,967	3	,652
Oct	,298	3	.	,915	3	,437
Nov	,220	3	.	,986	3	,776
Dic	,181	3	.	,999	3	,941

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Correlación:

Tras analizar la hipótesis de la estabilidad, se concluyó que se acepta la hipótesis nula y que los resultados provienen de una distribución normal, por ello el análisis de correlación se realiza por Pearson. En la siguiente tabla,

se presentan los resultados de correlación donde se obtuvo un coeficiente de correlación de -0.866 interpretando que existe una correlación negativa alta.

Tabla 53
Correlaciones de estabilidad (kg) por mes ante envejecimiento con radiación

Correlaciones

		Meses	Estabilidad (kg)
Meses	Correlación de Pearson	1	-.866**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	36	36
Estabilidad (kg)	Correlación de Pearson	-.866**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	36	36

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

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de dispersión:

La gráfica de dispersión de puntos se presenta para determinar la relación entre las variables en estudio, donde el patrón de los puntos nos indica la variación de la estabilidad que se da por mes al exponer con radiación ultravioleta la mezcla asfáltica densa diseñada, y la línea de ajuste cúbica presenta un valor de R2 de 0.981, interpretando así que la relación entre las variables es alta.

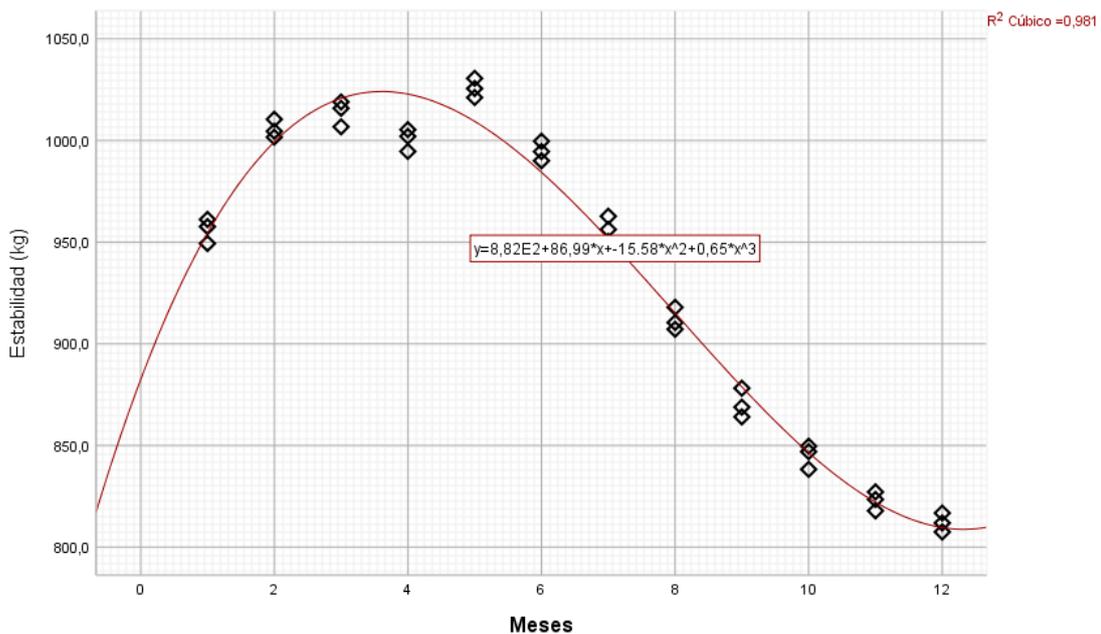


Figura 47
Dispersión de puntos de estabilidad (kg) por mes ante envejecimiento con radiación

Fuente: Elaboración propia

e. Flujo (mm) por mes al exponer las muestras con radiación ultravioleta

Descriptivos:

Tras realizar el análisis estadístico de los resultados del ensayo de Marshall realizado en laboratorio en muestras de mezclas asfálticas densas envejecidas con radiación ultravioleta, se muestra en la siguiente tabla los datos de descriptivos del resultado de fluencia resultante por mes en un año de exposición a radiación solar para una data total de 36.

Tabla 54
Descriptivos de flujo (mm) por mes ante envejecimiento con radiación ultravioleta

Descriptivos

				Estadístico	Error estándar		
Meses							
Flujo (mm)	Ene	Media		3,5400	,06083		
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,2783			
			Límite superior	3,8017			
		Media recortada al 5%		.			
		Mediana		3,5500			
		Varianza		,011			
		Desviación estándar		,10536			
		Mínimo		3,43			
		Máximo		3,64			
		Rango		,21			
		Rango intercuartil		.			
		Asimetría		-,423	1,225		
		Curtosis		.	.		
			Feb	Media		3,0233	,04333
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,8369	
Límite superior	3,2098						
Media recortada al 5%				.			
Mediana				3,0200			
Varianza				,006			
Desviación estándar				,07506			
Mínimo				2,95			
Máximo				3,10			
Rango				,15			
Rango intercuartil				.			
Asimetría				,199	1,225		
Curtosis				.	.		
	Mar			Media		3,0500	,05292
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,8223	
		Límite superior	3,2777				
		Media recortada al 5%		.			
		Mediana		3,0700			
		Varianza		,008			
		Desviación estándar		,09165			
		Mínimo		2,95			

	Máximo		3,13	
	Rango		,18	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,935	1,225
	Curtosis		.	
Abr	Media		3,1767	,05548
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,9380	
		Límite superior	3,4154	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,1600	
	Varianza		,009	
	Desviación estándar		,09609	
	Mínimo		3,09	
	Máximo		3,28	
	Rango		,19	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,757	1,225
	Curtosis		.	
May	Media		2,9967	,05897
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,7429	
		Límite superior	3,2504	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,0400	
	Varianza		,010	
	Desviación estándar		,10214	
	Mínimo		2,88	
	Máximo		3,07	
	Rango		,19	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,565	1,225
	Curtosis		.	
Jun	Media		3,1167	,05207
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,8926	
		Límite superior	3,3407	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,1100	
	Varianza		,008	
	Desviación estándar		,09018	
	Mínimo		3,03	
	Máximo		3,21	
	Rango		,18	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,331	1,225
	Curtosis		.	
Jul	Media		3,3367	,06119
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,0734	
		Límite superior	3,6000	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,3200	
	Varianza		,011	
	Desviación estándar		,10599	
	Mínimo		3,24	

	Máximo		3,45	
	Rango		,21	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,690	1,225
	Curtosis		.	.
Ago	Media		3,4500	,06245
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,1813	
		Límite superior	3,7187	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,4800	
	Varianza		,012	
	Desviación estándar		,10817	
	Mínimo		3,33	
	Máximo		3,54	
	Rango		,21	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,152	1,225
	Curtosis		.	.
Set	Media		3,6067	,04055
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,4322	
		Límite superior	3,7811	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,6000	
	Varianza		,005	
	Desviación estándar		,07024	
	Mínimo		3,54	
	Máximo		3,68	
	Rango		,14	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,423	1,225
	Curtosis		.	.
Oct	Media		3,8200	,05859
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,5679	
		Límite superior	4,0721	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,8000	
	Varianza		,010	
	Desviación estándar		,10149	
	Mínimo		3,73	
	Máximo		3,93	
	Rango		,20	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,852	1,225
	Curtosis		.	.
Nov	Media		3,9267	,06009
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,6681	
		Límite superior	4,1852	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,9600	
	Varianza		,011	
	Desviación estándar		,10408	
	Mínimo		3,81	

	Máximo		4,01	
	Rango		,20	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,293	1,225
	Curtosis		.	
Dic	Media		3,9267	,06489
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,6475	
		Límite superior	4,2059	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,9000	
	Varianza		,013	
	Desviación estándar		,11240	
	Mínimo		3,83	
	Máximo		4,05	
	Rango		,22	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,008	1,225
	Curtosis		.	

Fuente: Elaboración propia

Prueba de normalidad:

Para el análisis de la hipótesis respecto al flujo de las muestras de mezclas asfálticas densas envejecidas con radiación ultravioleta resultantes del ensayo de Marshall para cada mes por un año, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: Los resultados del flujo de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta para cada mes por un año de exposición provienen de una distribución normal.

Ha: Los resultados del flujo de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta para cada mes por un año de exposición no provienen de una distribución normal.

Para el nivel de significancia de 0.05, se determina aceptar o rechazar la hipótesis nula tras evaluar si las significancias resultantes de la prueba de normalidad con menores o mayores a 0.05. En la siguiente tabla de pruebas de normalidad, se observa que todos los valores de significancia por Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que los resultados del flujo de las mezclas envejecidas con radiación ultravioleta para cada mes por un año de exposición provienen de una distribución normal.

Tabla 55
Prueba de normalidad de flujo (mm) por mes ante envejecimiento con radiación

Pruebas de normalidad

	Meses	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Flujo (mm)	Ene	,204	3	.	,993	3	,843
	Feb	,184	3	.	,999	3	,927
	Mar	,253	3	.	,964	3	,637
	Abr	,236	3	.	,977	3	,712
	May	,331	3	.	,865	3	,281
	Jun	,196	3	.	,996	3	,878
	Jul	,229	3	.	,981	3	,739
	Ago	,276	3	.	,942	3	,537
	Set	,204	3	.	,993	3	,843
	Oct	,245	3	.	,971	3	,672
	Nov	,292	3	.	,923	3	,463
	Dic	,260	3	.	,958	3	,605

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Correlación:

Tras analizar la hipótesis del flujo, se concluyó que se acepta la hipótesis nula y que los resultados provienen de una distribución normal, por ello el análisis de correlación se realiza por Pearson. En la siguiente tabla, se presentan los resultados de correlación donde se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.752 interpretando que existe una correlación positiva alta.

Tabla 56
Correlaciones de flujo (mm) por mes ante envejecimiento con radiación

Correlaciones

		Meses	Flujo (mm)
Meses	Correlación de Pearson	1	,752**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	36	36
Flujo (mm)	Correlación de Pearson	,752**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	36	36

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

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de dispersión:

La gráfica de dispersión de puntos se presenta para determinar la relación entre las variables en estudio, donde el patrón de los puntos nos indica la variación del flujo que se da por mes al exponer con radiación ultravioleta la mezcla asfáltica densa diseñada, y la línea de ajuste cúbica presenta un valor de R2 de 0.896, interpretando así que la relación entre las variables es alta.

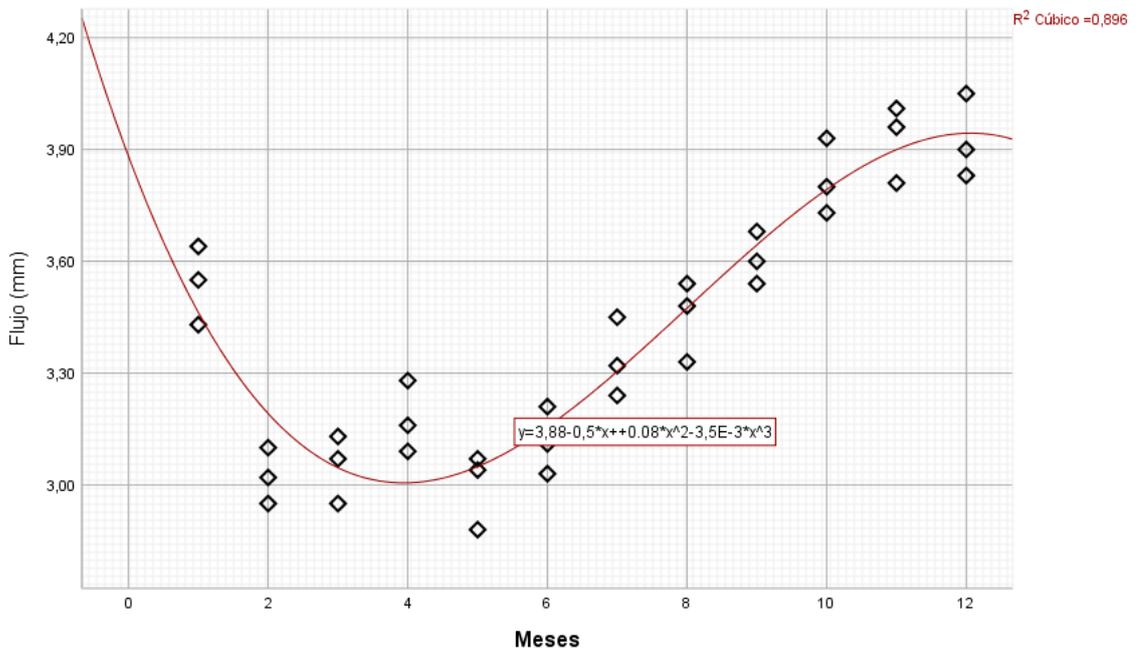


Figura 48

Dispersión de puntos de flujo (mm) por mes ante envejecimiento con radiación

Fuente: Elaboración propia

f. Pulverizado de agua a presión por mes

Descriptivos:

Tras realizar el análisis estadístico de los resultados del ensayo de pérdida de material por pulverizado de agua a presión realizado en laboratorio en muestras de mezclas asfálticas densas, se muestra en la siguiente tabla los datos de descriptivos del resultado de pulverizado resultante por mes en un año de exposición a precipitaciones a diferentes presiones para una data total de 36.

Tabla 57
Descriptivos de pulverizado de agua a presión por mes

Descriptivos

	Meses		Estadístico	Error estándar	
Pulverizado	Ene	Media	6,3600	,06807	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6,0671	
			Límite superior	6,6529	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	6,3300		
		Varianza	,014		
		Desviación estándar	,11790		
		Mínimo	6,26		
		Máximo	6,49		
		Rango	,23		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	1,071	1,225	
		Curtosis	.		
			Feb	Media	6,8900
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			6,5558	
	Límite superior			7,2242	
Media recortada al 5%	.				
Mediana	6,8500				
Varianza	,018				
Desviación estándar	,13454				
Mínimo	6,78				
Máximo	7,04				
Rango	,26				
Rango intercuartil	.				
Asimetría	1,220			1,225	
Curtosis	.				
	Mar			Media	6,1833
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5,7950	
			Límite superior	6,5716	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	6,1600		
		Varianza	,024		
		Desviación estándar	,15631		
		Mínimo	6,04		
		Máximo	6,35		
		Rango	,31		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	,657	1,225	
		Curtosis	.		
			Abr	Media	5,3133
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			4,9514	
	Límite superior			5,6753	
Media recortada al 5%	.				
Mediana	5,3300				
Varianza	,021				
Desviación estándar	,14572				
Mínimo	5,16				

	Máximo		5,45	
	Rango		,29	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,508	1,225
	Curtosis		.	.
May	Media		4,7767	,09821
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,3541	
		Límite superior	5,1992	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4,7700	
	Varianza		,029	
	Desviación estándar		,17010	
	Mínimo		4,61	
	Máximo		4,95	
	Rango		,34	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,176	1,225
	Curtosis		.	.
Jun	Media		4,8067	,08686
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,4329	
		Límite superior	5,1804	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4,8200	
	Varianza		,023	
	Desviación estándar		,15044	
	Mínimo		4,65	
	Máximo		4,95	
	Rango		,30	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,396	1,225
	Curtosis		.	.
Jul	Media		4,7567	,06173
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,4910	
		Límite superior	5,0223	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4,7800	
	Varianza		,011	
	Desviación estándar		,10693	
	Mínimo		4,64	
	Máximo		4,85	
	Rango		,21	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,935	1,225
	Curtosis		.	.
Ago	Media		4,8133	,10713
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,3524	
		Límite superior	5,2743	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4,8300	
	Varianza		,034	
	Desviación estándar		,18556	
	Mínimo		4,62	

	Máximo		4,99	
	Rango		,37	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,401	1,225
	Curtosis		.	
Set	Media		5,0033	,06360
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,7297	
		Límite superior	5,2770	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		5,0100	
	Varianza		,012	
	Desviación estándar		,11015	
	Mínimo		4,89	
	Máximo		5,11	
	Rango		,22	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,271	1,225
	Curtosis		.	
Oct	Media		5,2733	,05812
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5,0233	
		Límite superior	5,5234	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		5,2600	
	Varianza		,010	
	Desviación estándar		,10066	
	Mínimo		5,18	
	Máximo		5,38	
	Rango		,20	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,586	1,225
	Curtosis		.	
Nov	Media		5,3833	,06566
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5,1008	
		Límite superior	5,6658	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		5,3500	
	Varianza		,013	
	Desviación estándar		,11372	
	Mínimo		5,29	
	Máximo		5,51	
	Rango		,22	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,206	1,225
	Curtosis		.	
Dic	Media		5,2767	,07126
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,9701	
		Límite superior	5,5833	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		5,3100	
	Varianza		,015	
	Desviación estándar		,12342	
	Mínimo		5,14	

Máximo	5,38	
Rango	,24	
Rango intercuartil	.	
Asimetría	-1,127	1,225
Curtosis	.	.

Fuente: Elaboración propia

Prueba de normalidad:

Para el análisis de la hipótesis respecto al pulverizado de las muestras de mezclas asfálticas densas ensayadas a diferentes presiones para cada mes por un año, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: Los resultados de pulverizado de las mezclas ensayadas a diferentes presiones para cada mes por un año, provienen de una distribución normal.

Ha: Los resultados de pulverizado de las mezclas ensayadas a diferentes presiones para cada mes por un año, no provienen de una distribución normal.

Para el nivel de significancia de 0.05, se determina aceptar o rechazar la hipótesis nula tras evaluar si las significancias resultantes de la prueba de normalidad con menores o mayores a 0.05. En la siguiente tabla de pruebas de normalidad, se observa que todos los valores de significancia por Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que los resultados de pulverizado de las mezclas ensayadas a diferentes presiones para cada mes por un año provienen de una distribución normal.

Tabla 58
Prueba de normalidad de pulverizado de agua a presión por mes

Pruebas de normalidad

	Meses	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pulverizado	Ene	,267	3	.	,951	3	,576
	Feb	,284	3	.	,934	3	,503
	Mar	,226	3	.	,983	3	,752
	Abr	,212	3	.	,990	3	,811
	May	,182	3	.	,999	3	,935
	Jun	,202	3	.	,994	3	,853
	Jul	,253	3	.	,964	3	,637
	Ago	,202	3	.	,994	3	,851
	Set	,191	3	.	,997	3	,900
	Oct	,219	3	.	,987	3	,780
	Nov	,282	3	.	,936	3	,510
	Dic	,273	3	.	,945	3	,549

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Correlación:

Tras analizar la hipótesis del pulverizado, se concluyó que se acepta la hipótesis nula y que los resultados provienen de una distribución normal, por ello el análisis de correlación se realiza por Pearson. En la siguiente tabla, se presentan los resultados de correlación donde se obtuvo un coeficiente de correlación de -0.589 interpretando que existe una correlación negativa moderada.

Tabla 59
Correlaciones de pulverizado de agua a presión por mes

Correlaciones

		Meses	Pulverizado
Meses	Correlación de Pearson	1	-,589**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	36	36
Pulverizado	Correlación de Pearson	-,589**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	36	36

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

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de dispersión:

La gráfica de dispersión de puntos se presenta para determinar la relación entre las variables en estudio, donde el patrón de los puntos nos indica la variación del pulverizado de agua a presión que se da por mes al realizar los ensayos a diferentes presiones, y la línea de ajuste cúbica presenta un valor de R2 de 0.778, interpretando así que la relación entre las variables es mediana.

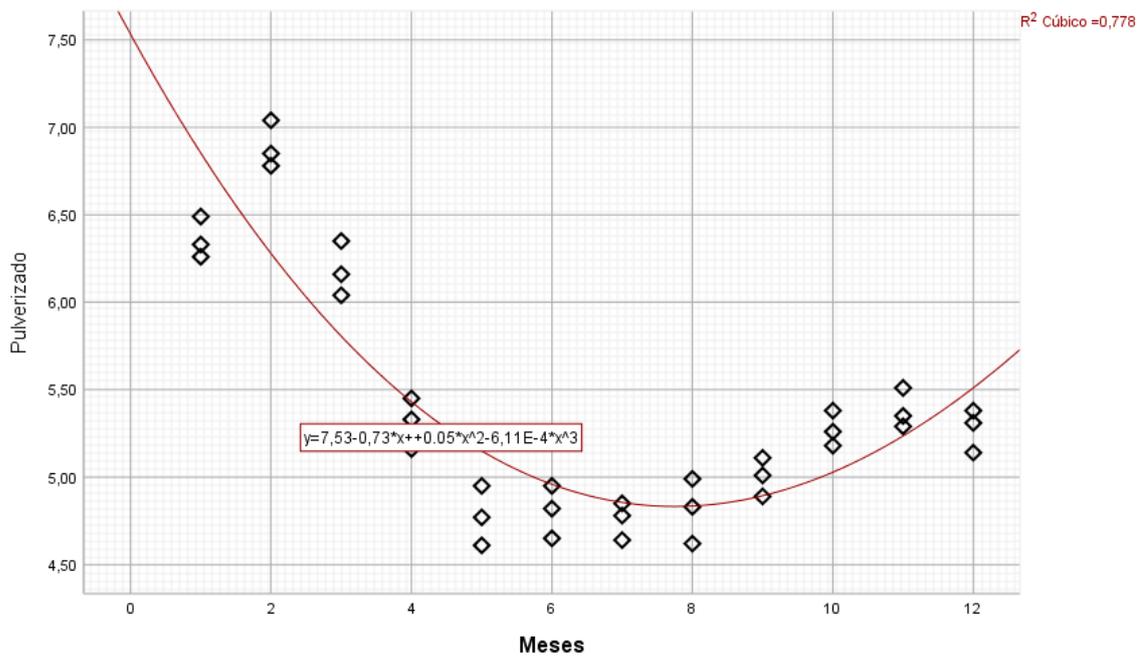


Figura 49

Dispersión de puntos de pulverizado de agua a presión por mes

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Esta tesis tuvo como objetivo sentar las bases de un marco de ciclo de vida mediante la formulación de su concepto, la identificación de posibles mecanismos de daño relacionados con el intemperismo, así como el desarrollo de los procesos de evaluación mediante el daño inducido por sol y por precipitación mediante un modelo característico local.

El efecto del intemperismo estacional local altera las propiedades mecánicas y el ciclo de vida de mezclas densas de acuerdo con las características climáticas locales por lo que llega a la conclusión de que existe un mayor nivel de radiación solar producido en los meses de enero y diciembre, produciendo de esta manera un descenso de 21.65% en la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente y un aumento del flujo de 28.9% que llega a niveles que superan los parámetros establecidos por la normativa Marshall. Respecto del análisis de pulverizado de agua a presión que induce el daño ocasionado por las precipitaciones, se presenta una mayor incidencia de este fenómeno en el mes de febrero de 7.04 que podría llegar a producir daños en el pavimento que sobrepasen el máximo porcentaje masa establecido de acuerdo con la normativa de referencia. Por lo cual es importante tener en cuenta los factores de intemperismo que pueden llegar a ser la causa de la aparición de fallas tempranas sobre la superficie del pavimento asfáltico.

Las propiedades mecánicas características del diseño de mezcla elaborado para cumplir con los requerimientos normativos vigentes actualmente permiten llegar a la conclusión de que los materiales disponibles localmente permiten la producción de una mezcla asfáltica en caliente que cumple con los parámetros mínimos Marshall exigidos, donde para un óptimo porcentaje de cemento asfáltico de 5.45% se alcanzó una estabilidad de 1047.3kg y flujo de 2.94 mm. Aunque es importante tener en consideración que la disponibilidad de agregados por huso granulométrico puede llegar ser dificultoso por la capacidad de producción de las plantas chancadoras locales. El diseño de mezcla asfáltica conseguido permite simular de forma representativa los pavimentos ligeros producidos en la región de Huancayo, lo cual representa un diseño ideal para

ser evaluado mediante los ensayos de daño inducido por radiación solar y pulverizado de agua a presión.

El comportamiento que presenta la mezcla asfáltica densa ante el daño inducido por radiación solar de acuerdo con el reporte mensual promedio de Huancayo llega a conclusión de que existe un deterioramiento acelerado producto del alto nivel de radiación que se presenta localmente en meses determinados (noviembre y diciembre). Por lo que se presenta un decaimiento de la resistencia de 23.3% producto del ensayo de daño inducido por radiación solar que se ajusta mediante el equipo de radiación UV y los reportes de la estación meteorológica de Huancayo.

El comportamiento que presenta la mezcla asfáltica densa ante el daño inducido por humedad de acuerdo con el ensayo de pulverizado de agua a presión en Huancayo llega a conclusión de que las precipitaciones también generan un daño representativo a las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente. Presentando porcentajes de pérdida de masa que se encuentran por debajo del límite máximo establecido por la normativa de referencia en meses determinados (junio, julio y agosto) obteniendo un porcentaje máximo permitido de 4.8%. Estos factores presentan una gran importancia para tener en cuenta para futuros diseños de mezcla que procuren resolver las características de intemperismo en la localidad.

RECOMENDACIONES

En el presente estudio, se identificó de forma controlada el daño por intemperismo de un diseño de mezcla control que refleje las principales características de una carpeta asfáltica local, a través de ensayos que inducen el daño de forma acelerada (radiación solar y precipitación), es por esto que se recomienda implementar planes de investigación mediante tramos de prueba que permitan medir a escala real las condiciones a la que se encuentra expuesta una carpeta de rodadura asfáltica, de esta forma ajustar las metodologías empleadas en la presente investigación con grados de confiabilidad más elevados. Asimismo, es importante contar con el apoyo de entidades municipales que permitan brindar tramos de distancias representativas para lograr realizar este nivel de investigación especializada.

Las principales condiciones características de la región de Huancayo tomadas para la elaboración de la presente investigación fueron la radiación solar y la precipitación, debido a que anualmente son los fenómenos que se presentan en mayor medida. Si se requiriera aplicar el ciclo de vida característico en regiones que presenten fenómenos variantes a los evaluados, sería necesario realizar estudios independientes que permiten evaluar fenómenos como el congelamiento o el sangrado de pavimentos. Por ejemplo, en zonas como Cerro de Pasco, sería necesario implementar al estudio de ciclo vida el fenómeno de congelamiento y descongelamiento, para lo cual podría establecerse un diseño de mezcla control que refleje también las principales características de esa localidad.

Hasta este momento, este proyecto se ha centrado en identificar las fuentes comunes de deterioro en los pavimentos asfálticos producto del intemperismo característico de Huancayo, así como en desarrollar un modelo de ciclo de vida que incluya el daño causado por la acción de la humedad y la radiación. Para alcanzar el objetivo de crear un instrumento que permita evidenciar la evolución de los daños que se producen por factores climáticos, se han identificado problemas estructuras correspondientes a los ensayos de daño inducido. Por lo que se recomienda someter a las condiciones de simulación de daño por luz ultravioleta y pulverizado de agua a presión a un diseño de mezcla realizado bajo la metodología Superpave, debido a que este tipo de mezclas se encuentran

enfocadas en analizar el desempeño de la mezcla asfáltica, el cual se podría ver alterado ante el daño por intemperismo. Todo esto cuando sea posible realizar diseños Superpave en los laboratorios a nivel local y nacionales, al no contar actualmente con laboratorio implementados con este tipo de equipos especializados.

De las normativas empleadas para evaluar y simular el daño por intemperismo, se recomienda procurar prevenir el creciente daño ocasionado por el intemperismo climático mediante la aplicación de aditivos especializados que permitan dotar a la mezcla asfáltica de propiedades resistentes a la radiación ultravioleta y a la humedad por pulverizado de agua a presión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asphalt Institute. (2020). *Asphalt Design Construct Maintain*. Texas: Vol 35, Nº2.
- Baena Paz, G. (2014). *Metodología de la investigación*. Distrito Federal, Mexico: GRUPO EDITORIAL PATRIA.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson Educación.
- Borshch, I., Grushko, I., Korolev, I., & Volkov, M. (1975). *Materiales de construcción de carreteras*. M.:Transport.
- 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.
- Carrasco Díaz, S. (2006). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*. Lima: San Marcos.
- Chilcon Carrera, J. C., & Ramírez Gálvez, K. R. (2017). *Elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenable para la reparación de pavimentos en el departamento de Lambayeque, 2017*. Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Csanyi, L. H. (1962). Funciones de los rellenos en las mezclas bituminosas. *Highway Research Board Bulletin*, 329.
- Das, P., Jelagin, D., & Birgisson, B. (2013). Evaluación del comportamiento de agrietamiento a baja temperatura de las mezclas asfálticas utilizando la mecánica de fractura HMA. *Construction and Building Materials*, 594-600.
- Edge, D. (1957). *Revisión y desarrollo de ecuaciones generales para mezclas de áridos densos*. Kansas: University of Kansas.
- Gomez Bastar, S. (2012). *Metodología de la investigación*. Estado de México: Ma. Eugenia Buendía López.
- González Castellanos, R. (2003). *Metodología de la Investigación Científica para las ciencias Técnicas*. Cuba: Universidad de Mantanzas.
- Hudson, S. B., & Vokac, R. (1962). El efecto de los rellenos en la estabilidad Marshall de las mezclas bituminosas. *Highway Research Board Bulletin*, 329.
- Hveem, F. N. (1949). Gradación de los áridos minerales en las mezclas bituminosas densas. *The Crushed Stone*, 13.

Iliopolov, S., Nikulin, Y., & Sayenko, S. (2006). Envejecimiento del betún. *Materials of the International Scientific and Practical Conference "Construction - 2006"*, 49-51.

Jimenez Paneque, R. (2002). *Metodología de la investigación*. Habana: Ciencia Médicas.

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.

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.

McLeod, N. W. (1956). Relaciones entre la densidad, el contenido de betún y las propiedades de los huecos de las mezclas de pavimento bituminoso compactado. *Highway Research Board*, 35.

Monje Álvarez, C. (2011). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA*. Colombia.

Paredes Matta, E. V. (2009). *Comportamiento mecánico de las mezclas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt)*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

Pilares Calla, C. A. (2018). *Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con fibras de polipropileno incorporada para condiciones de zonas de altura*. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola.

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.

Varveri, A., Zhu, J., & Kringos, N. (2015). Daños por humedad en mezclas asfálticas. *Advances in asphalt materials*, 303-344.

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 granulometría



Anexos 1. Se extrajeron agregados gruesos y finos de la cantera de Matahuasi, los cuales deberán cumplir con las especificaciones de la norma MTC E 201.



Anexos 2. Según las especificaciones de la norma MTC E 204, se obtuvieron 1.5 kg de muestra de arena zarandeada y 1.5 kg de arena chancada, las cuales fueron seleccionadas de un cuarteo realizado según lo indica la norma MTC E 201.



Anexos 3. Tras tener las muestras representativas del agregado, se procede a realizar el ensayo de granulometría, para ello es necesario emplear las mallas de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°10, N° 16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°100, N°200, tapa y fondo.



Anexos 4. Se tomará el peso retenido en cada malla empleando una balanza de 0.5 gr para más precisión en la toma de resultados.



Anexos 5. Según las especificaciones de la norma MTC E 204, se obtuvieron 3.0 kg de piedra chancada de $\frac{1}{2}$ " , las cuales fueron seleccionadas de un cuarteo realizado según lo indica la norma MTC E 201.



Anexos 6. Tras tener las muestras representativas del agregado grueso, se procede a realizar el ensayo de granulometría; para ello, es necesario emplear las mallas de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°10, N° 16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°100, N°200, tapa y fondo.



Anexos 7. Se tomará el peso retenido en cada malla empleando una balanza de 0.5 gr para más precisión en la toma de resultados.

b) Elaboración de briquetas



Anexos 8. Material a emplear para realizar la combinación teórica de agregados por MAC2.



Anexos 9. Tras realizar la combinación teórica de agregados por MAC2, se tomaron los pesos retenidos en cada malla especificada para obtener la mezcla de agregados.



Anexos 10. Se adiciona la cal hidratada como filler para la combinación de los agregados.



Anexos 11. Para una mezcla entre los agregados y el cemento asfáltico, se mantuvieron calientes estos materiales a una temperatura inferior a la temperatura de mezcla según lo especificado en el ensayo MTC E 504.



Anexos 12. Tras preparar la mezcla de agregados, se añadió el cemento asfáltico caliente variando su porcentaje de un 4% a 6%, logrando cumplir el peso de la mezcla asfáltica de 1250 gramos.



Anexos 13. Manteniendo la mezcla de agregados a una temperatura elevada empleando una hornilla, se realiza la mezcla asfáltica, verificando la temperatura con un termómetro de laboratorio.



Anexos 14. Según lo especificado en el ensayo MTC E 504, se emplearon moldes, collarines y placas base para moldear las briquetas; también es necesario el empleo de papel filtro en la base y parte superior de la briqueta.



Anexos 15. Se procede a colocar la mezcla asfáltica en los moldes precalentados, habiendo colocado antes un papel filtro en la base del molde.



Anexos 16. Tras colocar la mezcla obtenida, se realiza la compactación de ambas caras de la briqueta a 75 golpes empleando un pisón de compactación que cumpla con las especificaciones de la norma MTC E 504.



Anexos 17. Las briquetas obtenidas al variar los porcentajes de cemento asfáltico se dejan expuestas a temperatura ambiente para que se enfríen antes de desmoldar las briquetas.



Anexos 18. Después de dejar a temperatura ambiente las briquetas obtenidas, se pasa a desmoldarlas con cuidado de no perder material y etiquetándolas correctamente según el porcentaje de cemento asfáltico empleado.



Anexos 19. Se muestran las briquetas obtenidas al variar el contenido de asfalto al 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

c) Ensayo de peso específico



Anexos 20. Las briquetas resultantes al variar los porcentajes de cemento asfáltico de 4% al 6.5% fueron pesadas para registrar sus pesos secos.



Anexos 21. Se colocaron las briquetas en un recipiente con agua hasta que cubra la parte superior de estas para que se saturen de agua completamente.



Anexos 22. Tras saturar las briquetas, se procedió a realizar un secado superficial de las briquetas para registrar sus pesos superficialmente secos.



Anexos 23. Empleando una canastilla y un recipiente con agua, se procedió con colocar cada briqueta en la canastilla, sin que esta llegue a la base del recipiente, para tomar el peso de la canastilla con la briqueta sumergida.

d) Ensayo de Marshall



Anexos 24. Según las especificaciones de la norma, es necesario colocar las briquetas en agua por 30 a 40 minutos a 60 °C de temperatura, dentro de las 24 horas posteriores al haber elaborado las briquetas para su acondicionamiento.



Anexos 25. Las briquetas acondicionadas son colocadas en la mordaza que se colocará en la prensa de Marshall para las lecturas de los diales.



Anexos 26. Se empleó el aparato de Marshall para aplicar una carga a cada briqueta y así registrar las lecturas de los diales, también se optó por grabar todo el ensayo para tener el registro preciso de la data obtenida. El ensayo se realizará para tres briquetas por cada porcentaje de ligante asfáltico empleado.

e) Envejecimiento de mezclas con radiación ultravioleta



Anexos 27. Se procedió a elaborar nuevas briquetas por cada porcentaje de asfalto 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%, 3 briquetas por cada porcentaje de asfalto.



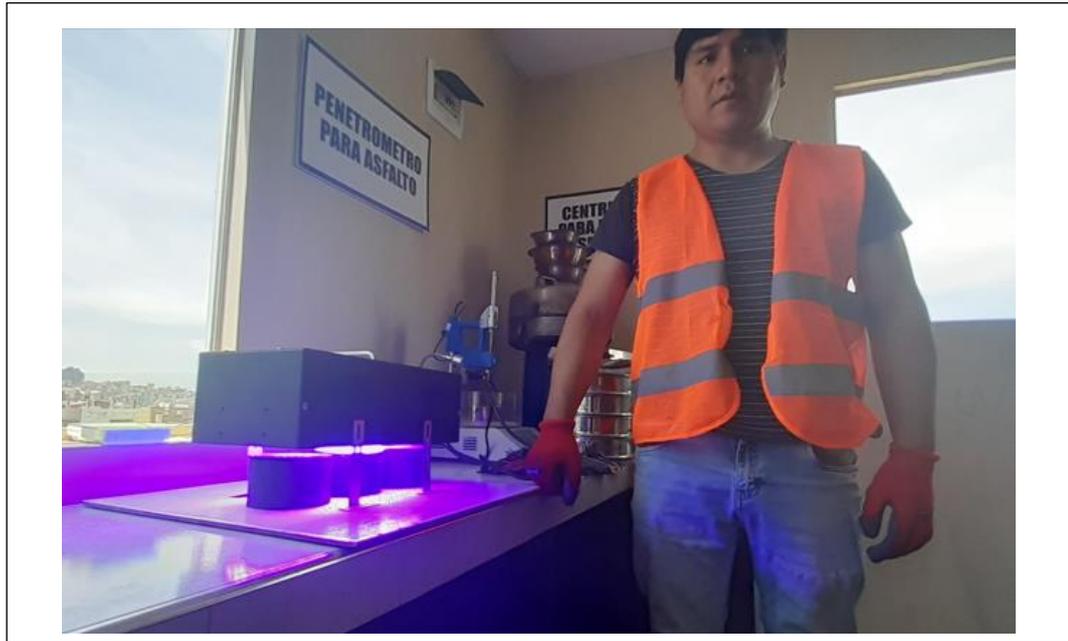
Anexos 28. Tras la elaboración de nuevas briquetas, se procedió a colocar las briquetas en el horno especial para el proceso de envejecimiento con radiación ultravioleta.



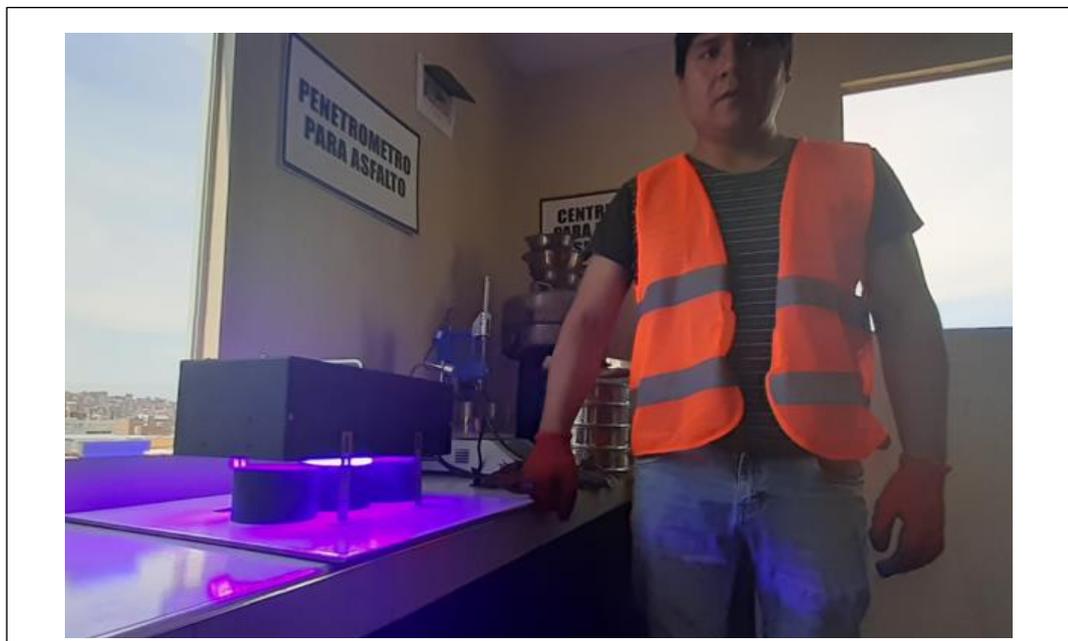
Anexos 29. Tras colocar las briquetas en un horno especial para el proceso de envejecimiento, se expuso cada muestra a radiación ultravioleta por un tiempo de 45 horas.



Anexos 30. Tras colocar las briquetas en un horno especial para el proceso de envejecimiento, se expuso cada muestra a radiación ultravioleta por un tiempo de 90 horas.



Anexos 31. Tras colocar las briquetas en un horno especial para el proceso de envejecimiento, se expuso cada muestra a radiación ultravioleta por un tiempo de 135 horas.



Anexos 32. Tras colocar las briquetas en un horno especial para el proceso de envejecimiento, se expuso cada muestra a radiación ultravioleta por un tiempo de 180 horas.

f) Ensayo de Marshall a briquetas envejecidas con radiación ultravioleta



Anexos 33. Se empleó el aparato de Marshall para aplicar una carga a cada briqueta envejecida con radiación ultravioleta a distintos tiempos y así registrar las lecturas de los diales, también se optó por grabar todo el ensayo para tener el registro preciso de la data obtenida.

g) Ensayo de pulverizado de agua a presión



Anexos 34. Briquetas elaboradas para realizar el ensayo de pulverizado de agua a presión.



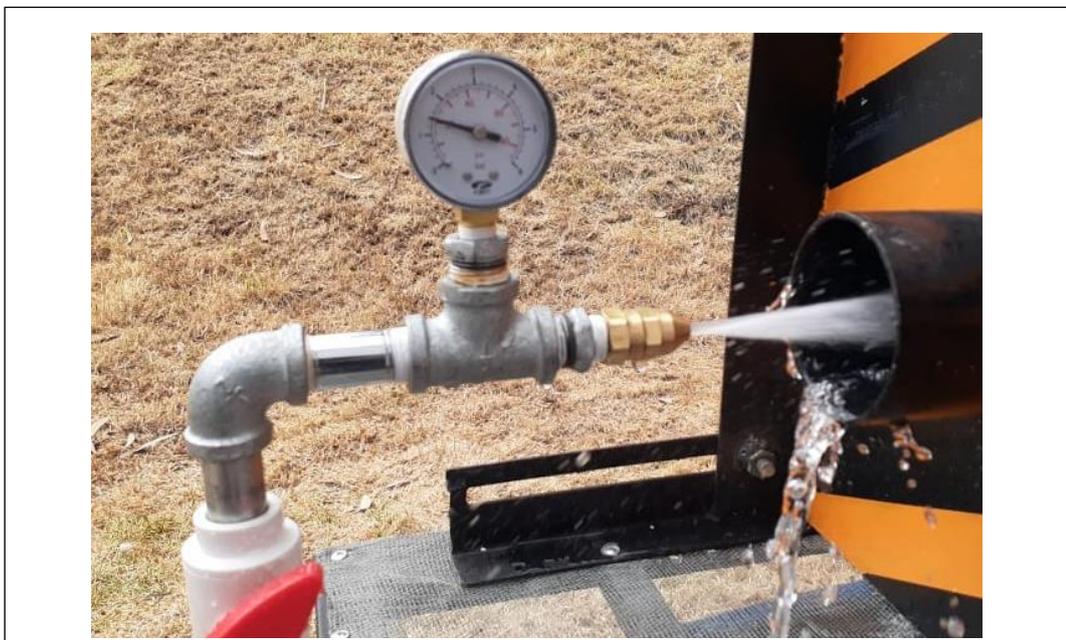
Anexos 35. Máquina de pulverizado de agua a presión por chorro para el ensayo en las briquetas elaboradas.



Anexos 36. Se someterán 12 briquetas a una presión de agua pulverizada de 0.5 kPa, a 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm de distancia entre la salida del agua y la cara de la briqueta.



Anexos 37. Se someterán 12 briquetas a una presión de agua pulverizada de 1.0 kPa, a 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm de distancia entre la salida del agua y la cara de la briqueta.



Anexos 38. Se someterán 12 briquetas a una presión de agua pulverizada de 1.5 kPa, a 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm de distancia entre la salida del agua y la cara de la briqueta.



Anexos 39. Se someterán 12 briquetas a una presión de agua pulverizada de 2.0 kPa, a 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm de distancia entre la salida del agua y la cara de la briqueta.



Anexos 40. Se someterán 12 briquetas a una presión de agua pulverizada de 2.15 kPa, a 5 cm, 10 cm, 15 cm y 18 cm de distancia entre la salida del agua y la cara de la briqueta.



Anexos 41. Briquetas resultantes tras realizar el ensayo por una hora y haber sido sometida a pulverizado de agua a 0.5 kPa de presión, demostrando que a 5 cm de distancia hay desprendimiento de material.



Anexos 42. Briquetas resultantes tras realizar el ensayo por una hora y haber sido sometida a pulverizado de agua a 1.0 kPa de presión, demostrando que a 5 cm de distancia hay desprendimiento de material.



Anexos 43. Briquetas resultantes tras realizar el ensayo por una hora y haber sido sometida a pulverizado de agua a 1.5 kPa de presión, demostrando que a 5 cm de distancia hay desprendimiento de material.



Anexos 44. Briquetas resultantes tras realizar el ensayo por una hora y haber sido sometida a pulverizado de agua a 2.0 kPa de presión, demostrando que a 5 cm de distancia hay desprendimiento de material.



Anexos 45. Briquetas resultantes tras realizar el ensayo por una hora y haber sido sometida a pulverizado de agua a 2.15 kPa de presión, demostrando que a 5 cm de distancia hay desprendimiento de material.

ANEXO 2. CERTIFICADOS

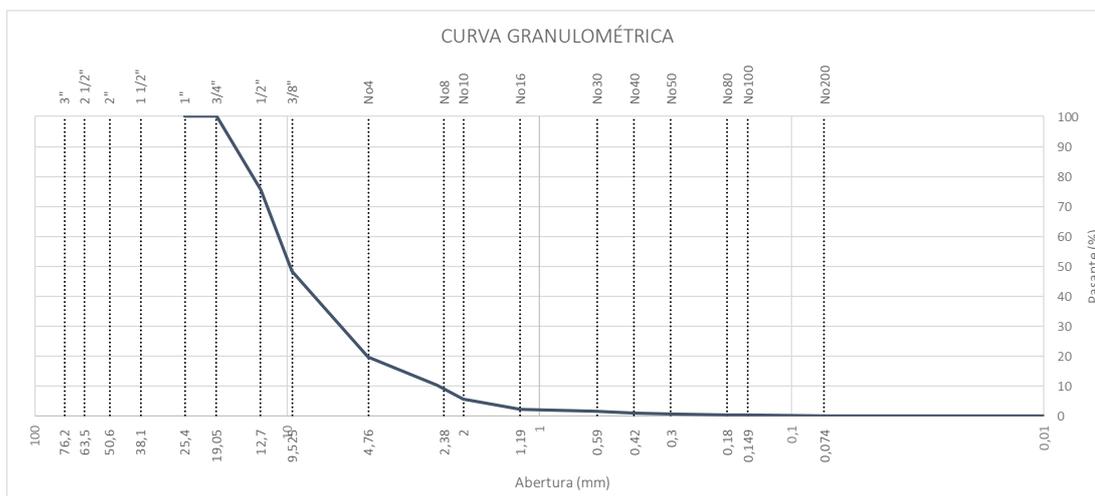
LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



PROYECTO:	EFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda
UBICACIÓN:	HUANCAYO
CANTERA:	MATAHUASI
MUESTRA:	AG.001
FECHA:	1/08/2022

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

PIEDRA CHANCADA 1/2"					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	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	734,10	24,47	24,47	75,53
3/8"	9,525	811,80	27,06	51,53	48,47
4	4,750	870,60	29,02	80,55	19,45
8	2,550	272,10	9,07	89,62	10,38
10	2,000	141,30	4,71	94,33	5,67
16	1,185	105,00	3,50	97,83	2,17
30	0,600	21,90	0,73	98,56	1,44
40	0,420	15,60	0,52	99,08	0,92
50	0,295	10,50	0,35	99,43	0,57
80	0,180	10,20	0,34	99,77	0,23
100	0,148	2,70	0,09	99,86	0,14
200	0,072	1,50	0,05	99,91	0,09
< 200	0,010	2,70	0,09	100,00	0,00
TOTAL MUESTRA =		3000,00 gr			




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


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

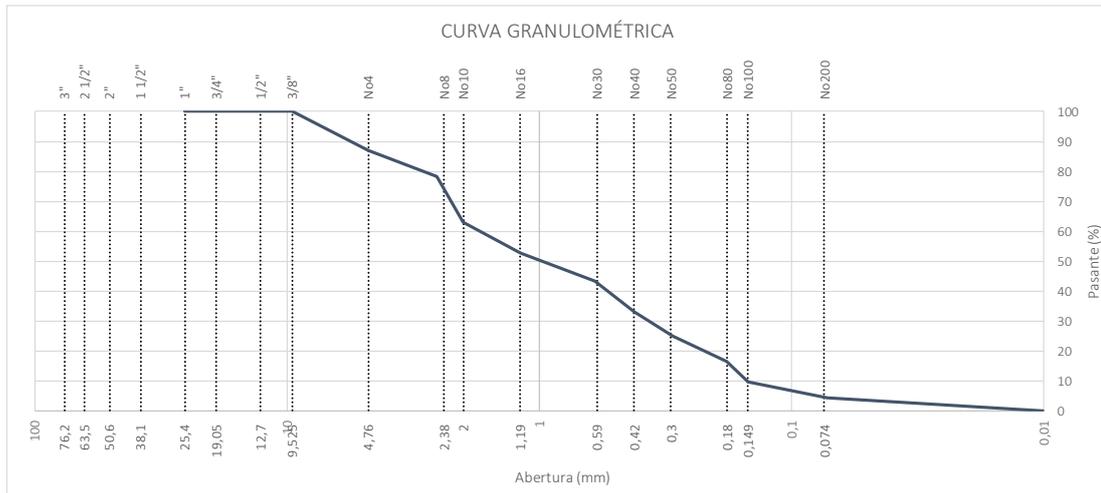
LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



PROYECTO:	EFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda
UBICACIÓN:	HUANCAYO
CANTERA:	MATAHUASI
MUESTRA:	AG.002
FECHA:	1/08/2022

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

ARENA ZARANDEADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	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	196,05	13,07	13,07	86,93
8	2,550	130,65	8,71	21,78	78,22
10	2,000	229,00	15,27	37,05	62,95
16	1,185	153,90	10,26	47,31	52,69
30	0,600	139,80	9,32	56,63	43,37
40	0,420	157,10	10,47	67,10	32,90
50	0,295	117,60	7,84	74,94	25,06
80	0,180	129,65	8,64	83,58	16,42
100	0,148	99,85	6,66	90,24	9,76
200	0,072	83,60	5,57	95,81	4,19
< 200	0,010	62,80	4,19	100,00	0,00
TOTAL MUESTRA =		1500,00 gr			




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


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

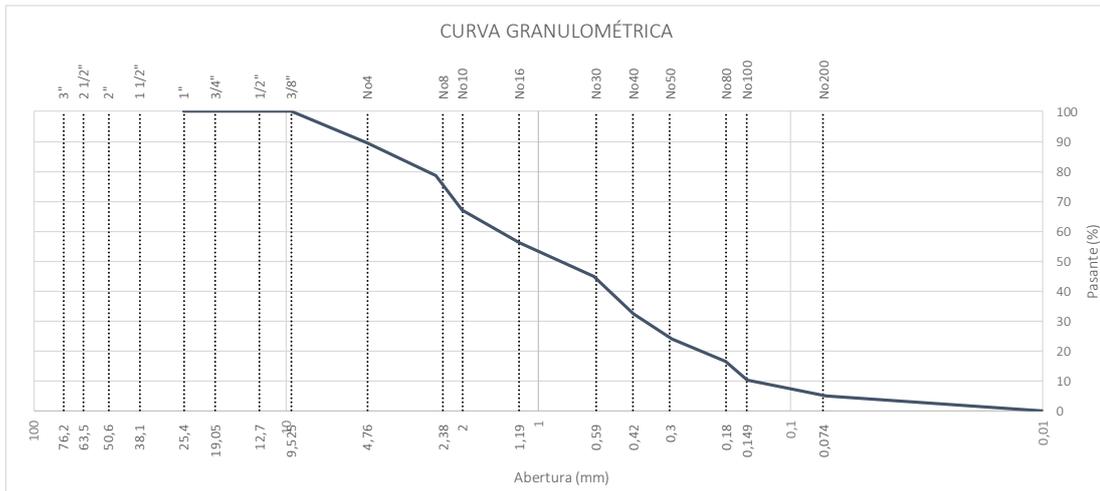
LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



PROYECTO:	EFFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda
UBICACIÓN:	HUANCAYO
CANTERA:	MATAHUASI
MUESTRA:	AG.003
FECHA:	1/08/2022

ANALISIS GRANULOMETRICO - AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA CHANCADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	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	158,85	10,59	10,59	89,41
8	2,550	160,95	10,73	21,32	78,68
10	2,000	173,70	11,58	32,90	67,10
16	1,185	164,10	10,94	43,84	56,16
30	0,600	169,50	11,30	55,14	44,86
40	0,420	187,15	12,48	67,62	32,38
50	0,295	128,10	8,54	76,16	23,84
80	0,180	108,15	7,21	83,37	16,63
100	0,148	95,90	6,39	89,76	10,24
200	0,072	78,15	5,21	94,97	5,03
< 200	0,010	75,45	5,03	100,00	0,00
TOTAL MUESTRA =		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.

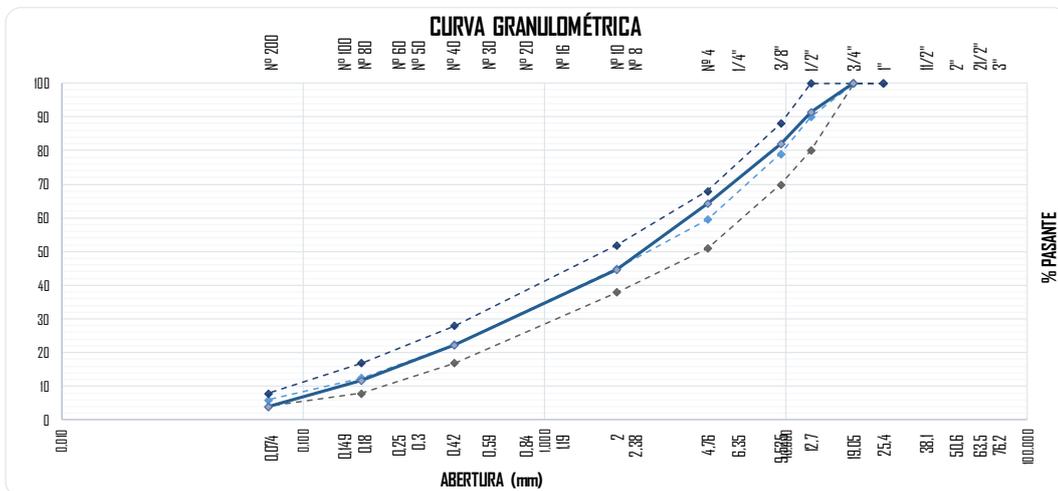
LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



PROYECTO:	EFFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda
UBICACIÓN:	HUANCAYO
CANTERA:	MATAHUASI
MUESTRA:	D.MAC2
FECHA:	1/08/2022

COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA ASFALTO - MAC 2

Malla		Porcentaje pasantes (%)					Especificaciones	
Tamiz	mm	PIEDRAS		ARENAS			MEZCLA	MAC-2
Agregados		Piedra chancada 1/2"	Arena Zarandeada	Arena Chancada	Cal	Tamaño máximo 1/2"		
Proporciones		35%	ZARANDEADA 33%	CHANCADA 31%	CAL 1%	100%	Curva Ideal	
1"	25,405	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0	100 - 100	100
3/4"	19,055	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0	100 - 100	100
1/2"	12,700	75,53	100,00	100,00	100,00	91,4	80 - 100	90
3/8"	9,525	48,47	100,00	100,00	100,00	82,0	70 - 88	79
No4	4,750	19,45	86,93	89,41	100,00	64,2	51 - 68	60
No8	2,550	10,38	78,22	78,68	100,00	54,8		
No10	2,000	5,67	62,95	67,10	100,00	44,6	38 - 52	45
No16	1,185	2,17	52,69	56,16	100,00	36,6		
No30	0,600	1,44	43,37	44,86	100,00	29,7		
No40	0,425	0,92	32,90	32,38	100,00	22,2	17 - 28	23
No50	0,295	0,57	25,06	23,84	100,00	16,9		
No80	0,175	0,23	16,42	16,63	100,00	11,7	8 - 17	13
No100	0,148	0,14	9,76	10,24	100,00	7,4		
No200	0,072	0,09	4,19	5,03	100,00	4,0	4 - 8	6
< N°200		0,00	0,00	0,00	0,00	0,0		




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


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



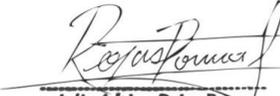
LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO:	EFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022											
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda						MUESTRA: Diseño - Muestra control (M.001-M.018)					
UBICACIÓN:	HUANCAYO						FECHA: 4/08/2022					
CANTERA:	MATAHUASI											

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - Muestra control (MTC E 504)

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4,00	4,00	4,00	4,50	4,50	4,50	5,00	5,00	5,00	5,50	5,50	5,50	6,00	6,00	6,00	6,50	6,50	6,50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	33,60	33,60	33,60	33,43	33,43	33,43	33,25	33,25	33,25	33,08	33,08	33,08	32,90	32,90	32,90	32,73	32,73	32,73
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	61,44	61,44	61,44	61,12	61,12	61,12	60,80	60,80	60,80	60,48	60,48	60,48	60,16	60,16	60,16	59,84	59,84	59,84
4	Filler en peso de la mezcla	%	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm³	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm³	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm³	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm³	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1249,8	1250,8	1249,3	1251,1	1250,6	1249,8	1247,7	1248,5	1250,0	1251,5	1250,7	1248,6	1248,1	1250,0	1251,0	1249,1	1250,3	1251,5
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1257,6	1258,9	1258,2	1258,6	1256,7	1257,8	1258,1	1257,7	1258,4	1259,1	1258,5	1255,6	1256,7	1258,0	1259,1	1257,3	1259,4	1259,0
11	Peso de la briqueta en agua	gr	725,5	723,9	724,7	723,5	722,4	722,3	723,1	723,5	721,3	719,5	718,4	718,3	714,8	714,1	713,9	710,3	713,7	712,1
12	Volumen de briqueta + parafina	cm³	532,1	535,0	533,5	535,1	534,3	535,5	535,0	534,2	537,1	539,6	540,1	537,3	541,9	543,9	545,2	547,0	545,7	546,9
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm³	2,349	2,338	2,342	2,338	2,341	2,334	2,332	2,327	2,327	2,319	2,316	2,324	2,303	2,298	2,295	2,284	2,291	2,288
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm³	2,481	2,481	2,481	2,460	2,460	2,460	2,441	2,441	2,441	2,416	2,416	2,416	2,380	2,380	2,380	2,360	2,360	2,360
15	Vacios (MTC E-505)	%	5,33	5,77	5,61	4,96	4,85	5,13	4,46	4,25	4,66	4,00	4,15	3,81	3,23	3,44	3,59	3,24	2,92	3,04
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm³	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631
17	V.M.A.	%	14,30	14,69	14,55	15,13	15,04	15,28	15,79	15,61	15,96	16,69	16,82	16,53	17,71	17,89	18,02	18,85	18,57	18,68
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	62,73	60,75	61,42	67,24	67,73	66,46	71,76	72,74	70,83	76,03	75,32	76,93	81,78	80,79	80,08	82,81	84,30	83,74
19	Peso específico del agregado total	gr/cm³	2,638	2,638	2,638	2,635	2,635	2,635	2,634	2,634	2,634	2,625	2,625	2,625	2,601	2,601	2,601	2,597	2,597	2,597
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0,110	0,110	0,110	0,064	0,064	0,064	0,047	0,047	0,047	-0,086	-0,086	-0,086	-0,441	-0,441	-0,441	-0,504	-0,504	-0,504
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3,90	3,90	3,90	4,44	4,44	4,44	4,96	4,96	4,96	5,58	5,58	5,58	6,41	6,41	6,41	6,97	6,97	6,97
22	Flujo	mm	1,61	1,48	1,39	1,87	1,77	2,12	2,37	2,52	2,61	2,98	3,11	2,82	3,57	3,31	3,42	3,82	3,73	3,65
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	821,3	842,0	851,3	956,7	941,5	968,0	1026,2	1013,9	1040,1	1045,5	1061,3	1036,8	1044,6	1032,4	1016,4	1002,9	976,7	987,7
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
26	Estabilidad corregida	kg	821,3	842,0	851,3	956,7	941,5	968,0	1026,2	1013,9	1040,1	1045,5	1061,3	1036,8	1044,6	1032,4	1016,4	1002,9	976,7	987,7
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	5101	5689	6124	5116	5319	4566	4330	4023	3985	3508	3413	3677	2926	3119	2972	2625	2618	2706
28	Compactación, número de golpes por cara		75 golp.																	


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


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

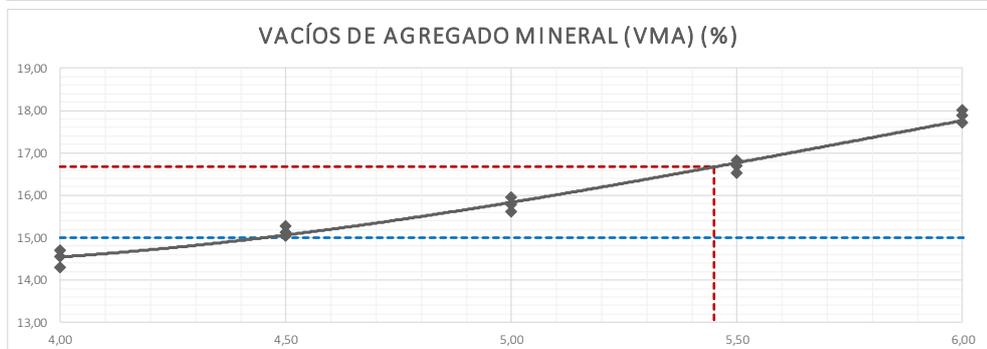
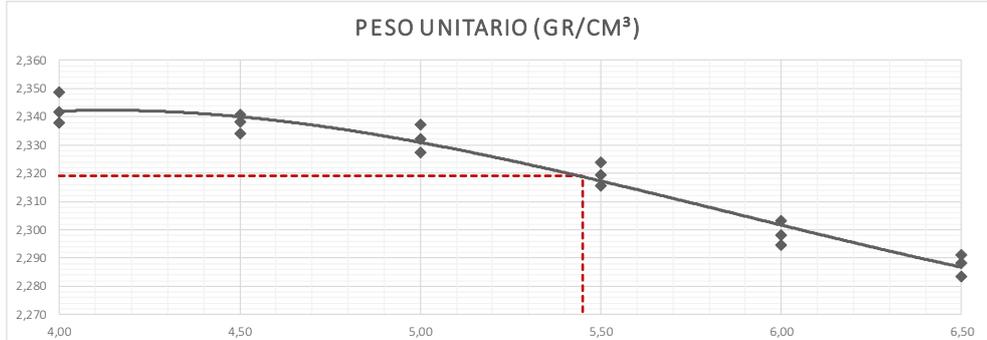
LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



PROYECTO:	EFFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda
UBICACIÓN:	HUANCAYO
CANTERA:	MATAHUASI
MUESTRA:	Diseño - Muestra control (1/2)
FECHA:	4/08/2022

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (1/2) (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/cm³	2,349	2,338	2,342	2,338	2,341	2,334	2,332	2,337	2,327
Vacíos de agregado mineral	%	14,30	14,69	14,55	15,13	15,04	15,28	15,79	15,61	15,96
Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	62,73	60,75	61,42	67,24	67,73	66,46	71,76	72,74	70,83
Cemento asfáltico	%	5,50	5,50	5,50	6,00	6,00	6,00	6,50	6,50	6,50
Peso unitario	gr/cm³	2,319	2,316	2,324	2,303	2,298	2,295	2,284	2,291	2,288
Vacíos de agregado mineral	%	16,69	16,82	16,53	17,71	17,89	18,02	18,85	18,57	18,68
Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	76,03	75,32	76,93	81,78	80,79	80,08	82,81	84,30	83,74




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


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

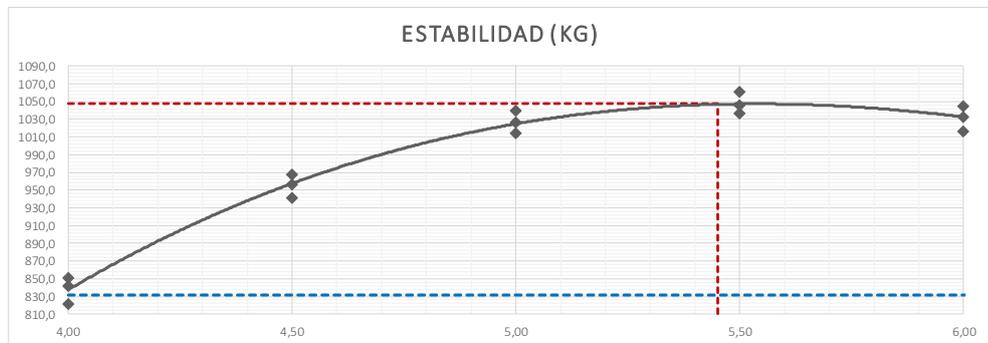
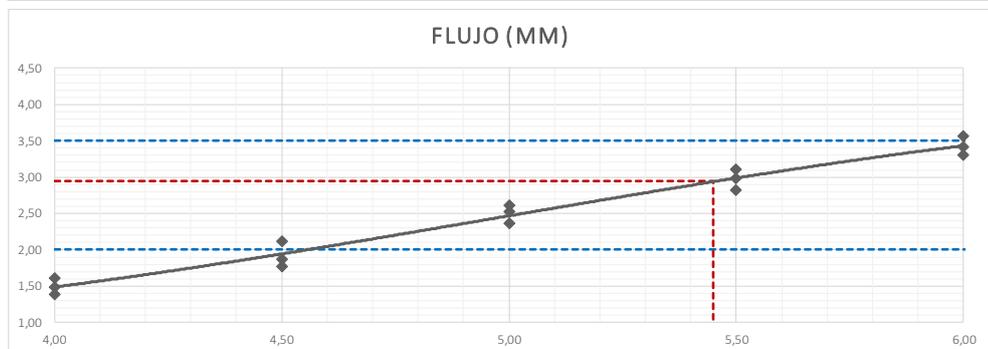
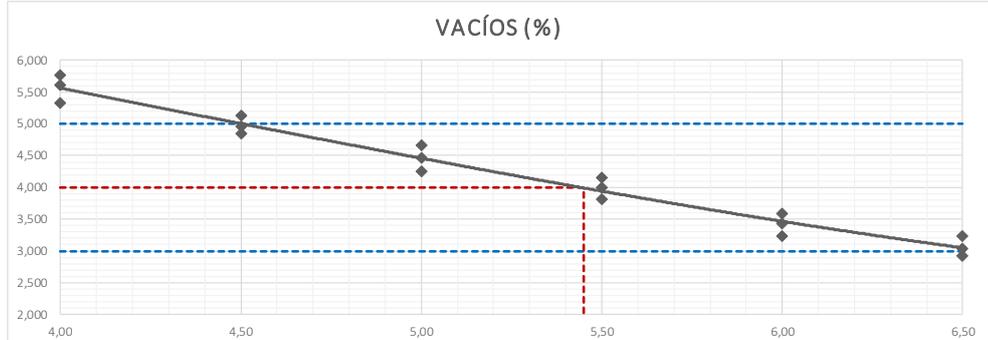
LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



PROYECTO:	EFFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda
UBICACIÓN:	HUANCAYO
CANTERA:	MATAHUASI
MUESTRA:	Diseño - Muestra control (2/2)
FECHA:	4/08/2022

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (2/2) (MTC E 504)

Cemento asfáltico	%	4,00	4,00	4,00	4,50	4,50	4,50	5,00	5,00	5,00
Vacíos	%	5,33	5,766	5,614	4,957	4,852	5,126	4,459	4,255	4,657
Flujo	mm	1,61	1,48	1,39	1,87	1,77	2,12	2,37	2,52	2,61
Estabilidad	kg	821,3	842,0	851,3	956,7	941,5	968,0	1026,2	1013,9	1040,1
Cemento asfáltico	%	5,50	5,50	5,50	6,00	6,00	6,00	6,50	6,50	6,50
Vacíos	%	4,00	4,152	3,815	3,227	3,436	3,589	3,240	2,916	3,036
Flujo	mm	2,98	3,11	2,82	3,57	3,31	3,42	3,82	3,73	3,65
Estabilidad	kg	1045,5	1061,3	1036,8	1044,6	1032,4	1016,4	1002,9	976,7	987,7




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


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



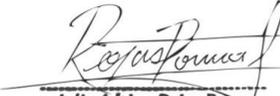
LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO:	EFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022	
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda	
UBICACIÓN:	HUANCAYO	
CANTERA:	MATAHUASI	
	MUESTRA:	Diseño - Envejecimiento radiación ultravioleta 45 h (M.019-M.036)
	FECHA:	7/08/2022

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - Envejecimiento radiación ultravioleta 45 horas (MTC E 504)

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4,00	4,00	4,00	4,50	4,50	4,50	5,00	5,00	5,00	5,50	5,50	5,50	6,00	6,00	6,00	6,50	6,50	6,50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	33,60	33,60	33,60	33,43	33,43	33,43	33,25	33,25	33,25	33,08	33,08	33,08	32,90	32,90	32,90	32,73	32,73	32,73
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	61,44	61,44	61,44	61,12	61,12	61,12	60,80	60,80	60,80	60,48	60,48	60,48	60,16	60,16	60,16	59,84	59,84	59,84
4	Filler en peso de la mezcla	%	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm³	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm³	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm³	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm³	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1248,0	1249,0	1249,8	1247,5	1250,2	1249,8	1246,8	1248,0	1249,3	1248,6	1250,3	1249,6	1247,3	1248,3	1249,9	1247,7	1249,1	1248,1
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1256,8	1259,0	1257,5	1257,1	1257,6	1256,4	1252,8	1257,6	1258,5	1256,5	1258,5	1257,7	1253,9	1255,3	1255,6	1253,7	1257,4	1256,6
11	Peso de la briqueta en agua	gr	724,1	726,6	725,0	724,7	723,1	723,9	717,9	722,9	723,7	718,5	720,3	718,6	710,4	711,9	712,4	706,9	709,5	710,1
12	Volumen de briqueta + parafina	cm³	532,7	532,4	532,5	532,4	534,5	532,5	534,9	534,7	534,8	538,0	538,2	539,1	543,5	543,4	543,2	546,8	547,9	546,5
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm³	2,343	2,346	2,347	2,343	2,339	2,347	2,331	2,334	2,336	2,321	2,323	2,318	2,295	2,297	2,301	2,282	2,280	2,284
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm³	2,481	2,481	2,481	2,460	2,460	2,460	2,441	2,441	2,441	2,416	2,416	2,416	2,380	2,380	2,380	2,360	2,360	2,360
15	Vacios (MTC E-505)	%	5,58	5,45	5,41	4,76	4,91	4,60	4,52	4,38	4,29	3,94	3,85	4,06	3,59	3,47	3,32	3,29	3,39	3,20
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm³	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631
17	V.M.A.	%	14,51	14,40	14,36	14,95	15,10	14,81	15,83	15,72	15,65	16,63	16,56	16,74	18,00	17,93	17,79	18,90	18,97	18,83
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	61,54	62,15	62,33	68,17	67,48	68,94	71,45	72,14	72,59	76,31	76,76	75,75	80,06	80,65	81,34	82,60	82,13	83,01
19	Peso específico del agregado total	gr/cm³	2,638	2,638	2,638	2,635	2,635	2,635	2,634	2,634	2,634	2,625	2,625	2,625	2,601	2,601	2,601	2,597	2,597	2,597
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0,110	0,110	0,110	0,064	0,064	0,064	0,047	0,047	0,047	-0,086	-0,086	-0,086	-0,441	-0,441	-0,441	-0,504	-0,504	-0,504
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3,90	3,90	3,90	4,44	4,44	4,44	4,96	4,96	4,96	5,58	5,58	5,58	6,41	6,41	6,41	6,97	6,97	6,97
22	Flujo	mm	1,59	1,80	1,89	2,32	2,08	2,28	2,84	2,59	2,71	3,01	3,28	3,16	3,66	3,51	3,42	3,51	3,60	3,74
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	871,0	851,2	842,9	950,5	941,0	923,6	994,6	1007,2	1017,8	1005,2	1017,9	1028,9	974,3	1002,6	989,7	969,3	957,5	942,6
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
26	Estabilidad corregida	kg	871,0	851,2	842,9	950,5	941,0	923,6	994,6	1007,2	1017,8	1005,2	1017,9	1028,9	974,3	1002,6	989,7	969,3	957,5	942,6
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	5478	4729	4460	4097	4524	4051	3502	3889	3756	3340	3103	3256	2662	2856	2894	2762	2660	2520
28	Compactación, número de golpes por cara		75 golp.																	


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


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



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO:	EFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022	
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda	
UBICACIÓN:	HUANCAYO	
CANTERA:	MATAHUASI	
MUESTRA:	Diseño - Envejecimiento radiación ultravioleta 90 h (M.037-M.054)	
FECHA:	12/08/2022	

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - Envejecimiento radiación ultravioleta 90 horas (MTC E 504)

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4,00	4,00	4,00	4,50	4,50	4,50	5,00	5,00	5,00	5,50	5,50	5,50	6,00	6,00	6,00	6,50	6,50	6,50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	33,60	33,60	33,60	33,43	33,43	33,43	33,25	33,25	33,25	33,25	33,25	33,25	33,08	33,08	33,08	32,90	32,90	32,90
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	61,44	61,44	61,44	61,12	61,12	61,12	60,80	60,80	60,80	60,48	60,48	60,48	60,16	60,16	60,16	59,84	59,84	59,84
4	Filler en peso de la mezcla	%	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm³	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm³	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm³	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm³	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1249,6	1250,9	1248,4	1249,0	1247,1	1248,1	1246,1	1246,2	1246,1	1248,3	1249,4	1248,5	1246,4	1248,5	1249,1	1245,6	1250,4	1247,9
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1256,6	1260,1	1257,5	1258,4	1257,7	1257,7	1253,8	1252,3	1252,6	1258,2	1259,7	1258,1	1254,5	1258,6	1256,5	1251,7	1259,9	1254,6
11	Peso de la briqueta en agua	gr	725,1	728,9	727,2	726,0	725,7	724,6	720,1	720,0	719,4	721,8	723,0	720,9	713,1	717,2	714,6	708,7	715,5	712,0
12	Volumen de briqueta + parafina	cm³	531,5	531,2	530,3	532,4	532,0	533,1	533,7	532,3	533,2	536,4	536,7	537,2	541,4	541,4	541,9	543,0	544,4	542,6
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm³	2,351	2,355	2,354	2,346	2,344	2,341	2,335	2,341	2,337	2,327	2,328	2,324	2,302	2,306	2,305	2,294	2,297	2,300
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm³	2,481	2,481	2,481	2,460	2,460	2,460	2,441	2,441	2,441	2,416	2,416	2,416	2,380	2,380	2,380	2,360	2,360	2,360
15	Vacios (MTC E-505)	%	5,25	5,08	5,11	4,63	4,70	4,82	4,35	4,10	4,27	3,69	3,63	3,81	3,28	3,10	3,15	2,81	2,66	2,55
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm³	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631
17	V.M.A.	%	14,22	14,07	14,11	14,84	14,92	15,03	15,69	15,47	15,62	16,42	16,38	16,53	17,75	17,61	17,65	18,48	18,37	18,26
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	63,07	63,90	63,78	68,81	68,49	67,92	72,27	73,50	72,66	77,53	77,84	76,95	81,53	82,40	82,15	84,79	85,52	86,04
19	Peso específico del agregado total	gr/cm³	2,638	2,638	2,638	2,635	2,635	2,635	2,634	2,634	2,634	2,625	2,625	2,625	2,601	2,601	2,601	2,597	2,597	2,597
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0,110	0,110	0,110	0,064	0,064	0,064	0,047	0,047	0,047	-0,086	-0,086	-0,086	-0,441	-0,441	-0,441	-0,504	-0,504	-0,504
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3,90	3,90	3,90	4,44	4,44	4,44	4,96	4,96	4,96	5,58	5,58	5,58	6,41	6,41	6,41	6,97	6,97	6,97
22	Flujo	mm	2,04	2,02	2,20	2,29	2,63	2,56	2,73	2,89	2,97	3,14	3,32	3,46	3,54	3,84	3,73	3,72	3,95	3,82
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	850,1	815,9	831,5	949,1	933,7	926,8	968,2	998,5	980,5	999,0	980,8	1006,9	983,7	974,6	957,6	947,4	928,1	915,1
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
26	Estabilidad corregida	kg	850,1	815,9	831,5	949,1	933,7	926,8	968,2	998,5	980,5	999,0	980,8	1006,9	983,7	974,6	957,6	947,4	928,1	915,1
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	4167	4039	3780	4145	3550	3620	3547	3455	3301	3182	2954	2910	2779	2538	2567	2547	2350	2396
28	Compactación, número de golpes por cara		75 golp.																	


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


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



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO:	EFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022	
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda	
UBICACIÓN:	HUANCAYO	
CANTERA:	MATAHUASI	
MUESTRA:	Diseño - Envejecimiento radiación ultravioleta 135 h (M.055-M.072)	
FECHA:	20/08/2022	

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - Envejecimiento radiación ultravioleta 135 horas (MTC E 504)

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4,00	4,00	4,00	4,50	4,50	4,50	5,00	5,00	5,00	5,50	5,50	5,50	6,00	6,00	6,00	6,50	6,50	6,50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	33,60	33,60	33,60	33,43	33,43	33,43	33,25	33,25	33,25	33,08	33,08	33,08	32,90	32,90	32,90	32,73	32,73	32,73
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	61,44	61,44	61,44	61,12	61,12	61,12	60,80	60,80	60,80	60,48	60,48	60,48	60,16	60,16	60,16	59,84	59,84	59,84
4	Filler en peso de la mezcla	%	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm³	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm³	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm³	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm³	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1245,6	1248,0	1249,2	1247,2	1246,8	1249,4	1251,0	1249,6	1248,7	1248,1	1245,6	1249,8	1249,7	1247,5	1250,5	1250,3	1247,2	1250,8
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1255,5	1256,4	1259,5	1256,6	1252,6	1256,2	1260,7	1256,7	1255,2	1257,4	1254,1	1259,5	1257,1	1253,7	1256,3	1256,9	1253,3	1258,7
11	Peso de la briqueta en agua	gr	727,7	726,7	730,0	726,1	722,5	723,9	725,6	722,9	722,3	721,0	720,0	723,1	714,7	713,2	713,8	710,9	709,9	713,2
12	Volumen de briqueta + parafina	cm³	527,8	529,7	529,5	530,5	530,1	532,3	535,1	533,8	532,9	536,4	534,1	536,4	542,4	540,5	542,5	546,0	543,4	545,5
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm³	2,360	2,356	2,359	2,351	2,352	2,347	2,338	2,341	2,343	2,327	2,332	2,330	2,304	2,308	2,305	2,290	2,295	2,293
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm³	2,481	2,481	2,481	2,460	2,460	2,460	2,441	2,441	2,441	2,416	2,416	2,416	2,380	2,380	2,380	2,360	2,360	2,360
15	Vacios (MTC E-505)	%	4,86	5,05	4,93	4,42	4,38	4,58	4,24	4,11	4,01	3,69	3,47	3,58	3,20	3,01	3,15	2,97	2,75	2,84
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm³	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631
17	V.M.A.	%	13,89	14,03	13,92	14,66	14,63	14,81	15,58	15,47	15,40	16,42	16,24	16,31	17,68	17,54	17,65	18,62	18,44	18,51
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	65,01	64,02	64,60	69,86	70,06	69,07	72,78	73,43	73,96	77,53	78,63	78,05	81,90	82,84	82,15	84,05	85,09	84,66
19	Peso específico del agregado total	gr/cm³	2,638	2,638	2,638	2,635	2,635	2,635	2,634	2,634	2,634	2,625	2,625	2,625	2,601	2,601	2,601	2,597	2,597	2,597
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0,110	0,110	0,110	0,064	0,064	0,064	0,047	0,047	0,047	-0,086	-0,086	-0,086	-0,441	-0,441	-0,441	-0,504	-0,504	-0,504
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3,90	3,90	3,90	4,44	4,44	4,44	4,96	4,96	4,96	5,58	5,58	5,58	6,41	6,41	6,41	6,97	6,97	6,97
22	Flujo	mm	2,61	2,43	2,31	3,14	2,90	3,03	3,42	3,67	3,54	3,90	4,12	3,82	4,34	4,63	4,52	4,82	4,64	4,75
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	729,1	710,3	736,5	792,9	811,7	822,2	887,4	857,3	867,9	868,4	886,8	900,7	888,7	873,4	864,4	853,9	867,8	846,2
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
26	Estabilidad corregida	kg	729,1	710,3	736,5	792,9	811,7	822,2	887,4	857,3	867,9	868,4	886,8	900,7	888,7	873,4	864,4	853,9	867,8	846,2
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2793	2923	3188	2525	2799	2714	2595	2336	2452	2227	2152	2358	2048	1886	1912	1772	1870	1781
28	Compactación, número de golpes por cara		75 golp.																	


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


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



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO:	EFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022	
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda	
UBICACIÓN:	HUANCAYO	
CANTERA:	MATAHUASI	
MUESTRA:	Diseño - Envejecimiento radiación ultravioleta 180 h (M.073-M.090)	
FECHA:	30/08/2022	

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - Envejecimiento radiación ultravioleta 180 horas (MTC E 504)

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4,00	4,00	4,00	4,50	4,50	4,50	5,00	5,00	5,00	5,50	5,50	5,50	6,00	6,00	6,00	6,50	6,50	6,50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	33,60	33,60	33,60	33,43	33,43	33,43	33,25	33,25	33,25	33,08	33,08	33,08	32,90	32,90	32,90	32,73	32,73	32,73
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	61,44	61,44	61,44	61,12	61,12	61,12	60,80	60,80	60,80	60,48	60,48	60,48	60,16	60,16	60,16	59,84	59,84	59,84
4	Filler en peso de la mezcla	%	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm³	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm³	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604	2,604
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm³	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm³	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1247,8	1250,6	1248,5	1247,5	1247,5	1245,6	1247,1	1245,5	1249,2	1250,8	1246,2	1248,4	1248,1	1246,8	1245,9	1247,8	1247,9	1248,8
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1258,2	1256,8	1255,4	1253,0	1257,2	1253,0	1253,0	1253,5	1255,2	1260,0	1256,4	1254,8	1258,3	1254,1	1252,5	1255,6	1257,8	1256,5
11	Peso de la briqueta en agua	gr	731,0	728,0	728,4	722,4	727,0	724,1	721,9	722,6	721,8	722,9	722,5	720,4	717,1	712,7	712,9	710,2	713,8	711,6
12	Volumen de briqueta + parafina	cm³	527,2	528,8	527,0	530,6	530,2	528,9	531,1	530,9	533,4	537,1	533,9	534,4	541,2	541,4	539,6	545,4	544,0	544,9
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm³	2,367	2,365	2,369	2,351	2,353	2,355	2,348	2,346	2,342	2,329	2,334	2,336	2,306	2,303	2,309	2,288	2,294	2,292
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm³	2,481	2,481	2,481	2,460	2,460	2,460	2,441	2,441	2,441	2,416	2,416	2,416	2,380	2,380	2,380	2,360	2,360	2,360
15	Vacios (MTC E-505)	%	4,58	4,67	4,51	4,44	4,33	4,25	3,81	3,88	4,05	3,62	3,41	3,31	3,10	3,23	2,97	3,07	2,80	2,87
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm³	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631
17	V.M.A.	%	13,63	13,71	13,56	14,66	14,59	14,52	15,22	15,29	15,44	16,35	16,17	16,10	17,61	17,72	17,50	18,69	18,48	18,55
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	66,40	65,93	66,74	69,72	70,32	70,73	74,96	74,63	73,76	77,86	78,91	79,44	82,40	81,77	83,03	83,57	84,85	84,53
19	Peso específico del agregado total	gr/cm³	2,638	2,638	2,638	2,635	2,635	2,635	2,634	2,634	2,634	2,625	2,625	2,625	2,601	2,601	2,601	2,597	2,597	2,597
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0,110	0,110	0,110	0,064	0,064	0,064	0,047	0,047	0,047	-0,086	-0,086	-0,086	-0,441	-0,441	-0,441	-0,504	-0,504	-0,504
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3,90	3,90	3,90	4,44	4,44	4,44	4,96	4,96	4,96	5,58	5,58	5,58	6,41	6,41	6,41	6,97	6,97	6,97
22	Flujo	mm	3,30	3,17	3,45	3,65	3,59	3,43	3,93	4,19	4,09	4,47	4,18	4,33	4,66	4,77	4,90	4,88	4,73	5,02
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	684,0	678,2	710,7	754,3	774,1	782,1	805,6	812,6	825,2	842,4	833,7	818,2	820,0	835,4	805,4	789,3	795,0	773,8
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
26	Estabilidad corregida	kg	684,0	678,2	710,7	754,3	774,1	782,1	805,6	812,6	825,2	842,4	833,7	818,2	820,0	835,4	805,4	789,3	795,0	773,8
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2073	2139	2060	2067	2156	2280	2050	1939	2018	1885	1994	1890	1760	1751	1644	1617	1681	1541
28	Compactación, número de golpes por cara		75 golp.																	


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


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

LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



PROYECTO:	EFFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda
UBICACIÓN:	HUANCAYO
CANTERA:	MATAHUASI
MUESTRA:	(M.091-M.150)
FECHA:	3/09/2022

ENSAYO DE PULVERIZADO DE AGUA A PRESIÓN (Normativa IS-1725)

Mues.	Pérdida (%) a 0.5 kPa de Presión			
	DISTANCIA (cm)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA (%)
1	18	1249,8	1249,6	0,01%
2	18	1248,6	1248,6	0,00%
3	18	1247,9	1247,8	0,01%
4	15	1248,2	1247,2	0,08%
5	15	1249,3	1248,7	0,05%
6	15	1249,8	1248,9	0,07%
7	10	1246,6	1244,8	0,15%
8	10	1247,6	1246,3	0,11%
9	10	1249,7	1248,2	0,12%
10	5	1250,5	1248,0	0,20%
11	5	1245,2	1242,2	0,24%
12	5	1249,6	1246,8	0,23%

Mues.	Pérdida (%) a 1.0 kPa de Presión			
	DISTANCIA (cm)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA (%)
13	18	1248,3	1247,4	0,07%
14	18	1243,4	1243,3	0,01%
15	18	1242,4	1242,4	0,00%
16	15	1246,9	1245,0	0,15%
17	15	1248,5	1246,9	0,13%
18	15	1248,2	1247,2	0,08%
19	10	1244,5	1241,8	0,22%
20	10	1246,5	1242,5	0,32%
21	10	1242,2	1238,8	0,27%
22	5	1246,9	1239,9	0,56%
23	5	1248,1	1241,5	0,53%
24	5	1244,5	1236,6	0,64%

Mues.	Pérdida (%) a 1.5 kPa de Presión			
	DISTANCIA (cm)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA (%)
25	18	1247,2	1245,8	0,11%
26	18	1247,7	1246,5	0,09%
27	18	1249,0	1246,6	0,19%
28	15	1249,0	1241,2	0,63%
29	15	1245,8	1239,9	0,48%
30	15	1245,8	1240,8	0,40%
31	10	1250,5	1233,3	1,38%
32	10	1249,9	1234,3	1,25%
33	10	1250,3	1231,7	1,49%
34	5	1246,1	1211,1	2,81%
35	5	1250,7	1213,7	2,96%
36	5	1247,1	1215,2	2,55%

Mues.	Pérdida (%) a 2.0 kPa de Presión			
	DISTANCIA (cm)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA (%)
37	18	1249,8	1248,7	0,09%
38	18	1248,2	1246,9	0,11%
39	18	1249,3	1247,1	0,18%
40	15	1244,8	1234,8	0,80%
41	15	1245,7	1236,5	0,74%
42	15	1246,4	1240,5	0,47%
43	10	1244,7	1216,5	2,26%
44	10	1250,0	1228,1	1,75%
45	10	1246,2	1221,7	1,96%
46	5	1248,3	1188,7	4,78%
47	5	1244,7	1180,4	5,16%
48	5	1248,5	1190,9	4,61%

Mues.	Pérdida (%) a 2.15 kPa de Presión			
	DISTANCIA (cm)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA (%)
49	18	1250,7	1248,2	0,20%
50	18	1246,1	1244,2	0,16%
51	18	1246,8	1243,6	0,26%
52	15	1247,2	1237,8	0,75%
53	15	1249,6	1239,3	0,82%
54	15	1249,4	1236,2	1,06%
55	10	1249,4	1215,7	2,70%
56	10	1246,2	1207,5	3,11%
57	10	1250,4	1214,6	2,86%
58	5	1246,8	1171,0	6,08%
59	5	1250,9	1171,4	6,35%
60	5	1250,5	1168,7	6,54%


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


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

LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



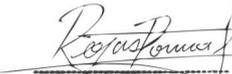
PROYECTO:	EFFECTO DEL INTEMPERISMO ESTACIONAL LOCAL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CICLO DE VIDA DE MEZCLAS DENSAS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2022
CONSULTOR:	Bach. Roland Gian Frank Refulio Castañeda
UBICACIÓN:	HUANCAYO
CANtera:	MATAHUASI
MUESTRA:	(M.151-M.222)
FECHA:	10/09/2022

ENSAYO DE MARSHALL ANTE ENVEJECIMIENTO CON RADIACIÓN ULTRAVIOLETA / ENSAYO DE PULVERIZADO DE AGUA A PRESIÓN

Horas de exposición a radiación	Meses	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)
15	Ene	961,1	3,43
15	Ene	957,6	3,64
15	Ene	949,3	3,55
30	Feb	1010,4	2,95
30	Feb	1001,6	3,02
30	Feb	1004,5	3,10
45	Mar	1015,8	3,07
45	Mar	1018,9	2,95
45	Mar	1006,7	3,13
60	Abr	1005,3	3,16
60	Abr	1002,0	3,28
60	Abr	994,6	3,09
75	May	1025,5	3,07
75	May	1030,5	2,88
75	May	1021,1	3,04
90	Jun	990,0	3,03
90	Jun	994,5	3,11
90	Jun	999,6	3,21
105	Jul	962,7	3,24
105	Jul	950,3	3,32
105	Jul	956,2	3,45
120	Ago	917,9	3,33
120	Ago	910,4	3,48
120	Ago	907,1	3,54
135	Set	864,0	3,68
135	Set	868,8	3,54
135	Set	878,1	3,60
150	Oct	838,2	3,80
150	Oct	846,9	3,73
150	Oct	849,6	3,93
165	Nov	817,8	3,81
165	Nov	827,1	3,96
165	Nov	823,4	4,01
180	Dic	807,4	4,05
180	Dic	816,7	3,83
180	Dic	811,8	3,90

Presión (kPa)	Meses	Pulverizado
6,1	Ene	6,49
6,1	Ene	6,26
6,1	Ene	6,33
8,4	Feb	6,78
8,4	Feb	6,85
8,4	Feb	7,04
5,7	Mar	6,16
5,7	Mar	6,04
5,7	Mar	6,35
3,5	Abr	5,45
3,5	Abr	5,33
3,5	Abr	5,16
0,8	May	4,61
0,8	May	4,95
0,8	May	4,77
0,2	Jun	4,82
0,2	Jun	4,65
0,2	Jun	4,95
0,7	Jul	4,64
0,7	Jul	4,78
0,7	Jul	4,85
0,9	Ago	4,99
0,9	Ago	4,83
0,9	Ago	4,62
1,4	Set	5,01
1,4	Set	4,89
1,4	Set	5,11
2,6	Oct	5,26
2,6	Oct	5,38
2,6	Oct	5,18
3,5	Nov	5,29
3,5	Nov	5,51
3,5	Nov	5,35
2,5	Dic	5,14
2,5	Dic	5,31
2,5	Dic	5,38


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


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

ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicadores	Metodología
<p>Problema General: ¿Cómo el efecto del intemperismo estacional local altera las propiedades mecánicas y el ciclo de vida de mezclas densas en la ciudad de Huancayo 2022?</p>	<p>Objetivo general: Analizar el efecto del intemperismo estacional local al alterar las propiedades mecánicas y el ciclo de vida de mezclas densas en la ciudad de Huancayo 2022.</p>	<p>Hipótesis general: El efecto del intemperismo estacional local altera las propiedades mecánicas y el ciclo de vida de mezclas densas deteriorándolas en un 15% para Huancayo 2022</p>	Variable independiente: Intemperismo estacional local	ESTADO CONTROL	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301 Diseño en cumplimiento método MARSHALL Análisis de propiedades volumétricas MTC E 505 	<p>Diseño de investigación Experimental: Método que manipula las variables independientes para analizar esa manipulación sobre variables dependientes.</p> <p>Nivel Correlacional: Investigación correlacional analiza la relación entre variable dependiente e independiente.</p> <p>Población y muestra: Población Se tiene 300 kg mezcla asfáltica en caliente.</p> <p>Muestra 95 briquetas de mezcla asfáltica en caliente.</p> <p>Instrumentos: Fichas de recolección de datos, evidenciados con certificados de ensayos.</p> <p>Recolección de muestras: Recolección de datos por observación directa y examinación de resultados de ensayos de laboratorio.</p>
<p>Problemas Específicos: ¿Cuáles son las propiedades mecánicas características del diseño de mezcla elaborado para cumplir con los requerimientos normativos en Huancayo 2022?</p>	<p>Objetivos específicos: Establecer las propiedades mecánicas características del diseño de mezcla elaborado para cumplir con los requerimientos normativos en Huancayo 2022.</p>	<p>Hipótesis específica: Las propiedades mecánicas características del diseño de mezcla elaborado cumplen ampliamente con los requerimientos normativos Marshall en Huancayo 2022.</p>		ESTADO DAÑO POR HUMEDAD	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301 Diseño en cumplimiento método MARSHALL Ensayo de pulverizada agua a presión IS-5454 	
<p>¿Qué comportamiento presenta la mezcla asfáltica diseñada ante el daño inducido por radiación solar de acuerdo con el reporte mensual promedio de Huancayo 2022?</p>	<p>Determinar el comportamiento que presenta la mezcla asfáltica diseñada ante el daño inducido por radiación solar de acuerdo con el reporte mensual promedio de Huancayo 2022.</p>	<p>El comportamiento de la mezcla asfáltica diseñada se deteriora en un 12% ante el daño inducido por radiación solar de acuerdo con el reporte mensual promedio de Huancayo 2022.</p>		ESTADO DAÑO POR RADIACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301 Diseño en cumplimiento método MARSHALL Ensayo daño inducido por rayos UV AASHTO-3571 	
<p>¿Qué comportamiento presenta la mezcla asfáltica diseñada ante el daño inducido por humedad de acuerdo con el pulverizado de agua a presión en Huancayo 2022?</p>	<p>Determinar el comportamiento que presenta la mezcla asfáltica diseñada ante el daño inducido por humedad de acuerdo con el pulverizado de agua a presión en Huancayo 2022.</p>	<p>El comportamiento de la mezcla asfáltica diseñada se daña en un 20% ante el daño inducido por humedad de acuerdo con el pulverizado de agua a presión en Huancayo 2022.</p>	Variable dependiente: Propiedades Mecánicas (MAC)	ESTABILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301 Ensayo de resistencia mezcla MTC E 504 Toma de medidas de muestras MTC E 504 	
				FLUJO	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301 Ensayo de resistencia mezcla MTC E 504 Toma de medidas de muestras MTC E 504 	
				DESGASTE	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo de materiales bituminosos MTC E 301 Desgaste de muestras MTC E 515 Gravedad Especifica MTC E 506 	