



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN
LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO
MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. BRAYAN LEINER PARISUAÑA INCAHUANACO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO O ALTO PUNO

AUTOR

BRAYAN LEINER PARISUAÑA INCAHUA NACO

RECUENTO DE PALABRAS

31434 Words

RECUENTO DE CARACTERES

170448 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

233 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.2MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 11, 2024 11:16 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 11, 2024 11:19 AM GMT-5

● **11% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Ing. Samuel Thuaquisio Cáceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2007537

VOSO  11 ABRIL 2024
Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910545
SUBDIRECCIÓN INVESTIGACIÓN
ERIC

Resumen



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, quien ha sido mi guía en el sendero de la vida y agradezco por las bendiciones que ha derramado sobre mí. Su gracia y dirección han hecho posible la materialización de este trabajo de investigación

A mi padre, Mauro Francisco Parisuaña quien fue y es el impulso a mejorar continuamente.

A mis hermanos, Naun, Milagros, Tania y Shomara quienes me inspiran a crecer y mejorar cada día en cada aspecto de mi vida.

A mis amigos, Andy, Fidel, Roy y Kevin por su constante motivación para conseguir mis objetivos.

A todas aquellas personas que me apoyaron de manera directa e indirecta en mi vida personal y profesional.

Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por ser la institución que me ha brindado mi formación académica y por ser una fuente invaluable de conocimientos que han sido fundamentales para la realización de este proyecto de investigación.

Deseo agradecer de manera especial al Dr. Samuel Huaquisto Cáceres por su orientación, consejo y apoyo a lo largo de la elaboración de este trabajo de investigación. Su experiencia y dedicación han sido cruciales para el desarrollo exitoso de este proyecto.

Asimismo, quiero expresar mi reconocimiento a los distinguidos miembros del jurado, el Dr. Félix Rojas Chahuares, el M.C. Gino Frank Laque Cordova y la Ing. Silvia Leonor Ingaluque Arapa, por su rigurosidad, valiosas correcciones y comprensión durante la evaluación de este estudio.

Agradezco también a la destacada plana de docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por su constante guía y enseñanzas que han sido fundamentales a lo largo de mis años de estudio. Su dedicación ha sido inspiradora y ha contribuido significativamente a mi crecimiento académico y profesional.

Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.2.1 Problema principal	22
1.2.2 Problemas específicos	23
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.3.1 Hipótesis general	23
1.3.2 Hipótesis específicas	23
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	23
1.5 OBJETIVOS.....	24
1.5.1 Objetivo general	24
1.5.2 Objetivos específicos	24
1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	25



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DEL PROYECTO	26
2.1.1	Antecedentes internacionales	26
2.1.2	Antecedentes nacionales	30
2.2	MARCO TEÓRICO	34
2.2.1	Mezclas asfálticas.....	34
2.2.1.1	Propiedades de las mezclas asfálticas	34
2.2.2	Métodos de diseño de mezclas asfálticas	36
2.2.2.1	Metodología Marshall	36
2.2.2.2	Metodología Hveem.....	37
2.2.2.3	Metodología Superpave	38
2.2.3	Tipos de mezclas asfálticas	38
2.2.4	Mezclas asfálticas en caliente	39
2.2.4.1	Comportamiento de ligante asfáltico	39
2.2.4.2	Comportamiento de los agregados minerales	40
2.2.4.3	Comportamiento de mezclas asfálticas en caliente.....	40
2.2.4.4	Clasificación de las mezclas asfálticas en caliente	41
2.2.5	Elementos constituyentes de las mezclas asfálticas en caliente	42
2.2.5.1	Asfalto.....	42
2.2.5.2	Agregados	42
2.2.6	Propiedades de consenso de los agregados	44
2.2.7	Propiedades de origen de los agregados.....	46
2.2.8	Parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica en caliente.	47
2.2.8.1	Ligante asfáltico	47



2.2.8.2	Agregado pétreo	47
2.2.8.3	Componentes de una mezcla asfáltica en caliente	48
2.2.9	Metodología Marshall	52
2.2.9.1	Gravedad específica	52
2.2.9.2	Prueba de estabilidad y flujo.....	52
2.2.9.3	Análisis de densidad y vacíos	53
2.2.10	Control de calidad y parámetros de la metodología Marshall.....	54
2.2.10.1	Control de calidad del cemento asfáltico	54
2.2.10.2	Control de calidad del agregado.....	56
2.2.10.3	Gradación para mezclas asfálticas en caliente	57
2.2.10.4	Mezcla Asfáltica.	58
2.2.11	Granulometría Superpave.....	59
2.2.11.1	Gráfica elevada al exponente 0,45	60
2.2.11.2	Gráfica de Fuller	61
2.2.11.3	Trazado de gradaciones.....	62

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	ÁMBITO DE ESTUDIO	64
3.2	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	65
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	66
3.4	DISEÑO ESTADÍSTICO	68
3.4.1	Prueba de hipótesis.....	68
3.5	PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO.....	70
3.5.1	Materiales empleados.....	70
3.5.2	Procedimiento experimental - caracterización	71



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	102
4.1.1	Procedimiento experimental – características volumétricas	102
4.1.2	Procedimiento experimental – características mecánicas	110
4.1.3	Cálculo del contenido de asfalto optimo	111
4.1.3.1	Mezcla con granulometría tipo MAC-01.....	119
4.1.3.2	Mezcla con granulometría Superpave tipo SA.	123
4.1.3.3	Mezcla con granulometría Superpave tipo SB.....	127
4.2	RESULTADOS DE CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS.	131
4.2.1	Análisis de las Características Volumétricas	132
4.2.2	Interpretación de las Características Volumétricas	134
4.3	RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	134
4.3.1	Análisis de las Características Mecánicas.....	134
4.3.2	Interpretación de las Características Mecánicas	135
4.4	PRUEBA DE HIPÓTESIS – CONTRASTACIÓN.....	136
4.4.1	Prueba de hipótesis – H1	136
4.4.1.1	Peso específico.....	137
4.4.1.2	Porcentaje de vacíos.....	142
4.4.1.3	Porcentaje de vacíos en agregados minerales	147
4.4.1.4	Porcentaje de vacíos cubiertos con asfalto.....	152
4.4.2	Prueba de hipótesis – H2.....	157
4.4.2.1	Estabilidad.....	157
4.4.2.2	Flujo	162
4.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	167



4.5.1	Discusión del objetivo específico 1.....	167
4.5.2	Discusión del objetivo específico 2.....	170
V.	CONCLUSIONES.....	173
VI.	RECOMENDACIONES	175
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	176
ANEXOS.....		180

ÁREA: Transportes

TEMA: Diseño de mezclas asfálticas en caliente

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y gestión vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 17 de abril del 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Comportamiento de una mezcla asfáltica.....	41
Figura 2 Gravedades específicas determinadas al agregado pétreo.....	48
Figura 3 Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica compactada.	49
Figura 4 Gradación Superpave EG-2013 (Puntos de control, Zona restrictiva).....	60
Figura 5 Gradación de máxima densidad para TM de 19mm.	62
Figura 6 Gradaciones de máxima densidad.	63
Figura 7 Ubicación de planta de asfalto municipal de la ciudad de Juliaca.	70
Figura 8 Filler silico, CARPETEK – ROCATECH.	71
Figura 9 Ensayo de contenido de humedad para materiales pétreos.	72
Figura 10 Ensayo de granulometría para granulometría Marshall.	75
Figura 11 Granulometría de la piedra chancada.	75
Figura 12 Curva granulométrica de la piedra chancada fina.	76
Figura 13 Curva granulométrica de la arena zarandeada.....	76
Figura 14 Combinación de piedra chancada, arena chancada y arena zarandeada.....	77
Figura 15 Curva granulométrica tipo MAC-01.	77
Figura 16 Agrupamiento de agregados para granulometría Superpave.....	79
Figura 17 Curva de la granulometría Superpave tipo SA.....	79
Figura 18 Curva de la granulometría Superpave tipo SB.	80
Figura 19 Ensayo de desgaste por abrasión e impacto, los Ángeles.	81
Figura 20 Ensayo de equivalente de arena, para agregado fino.	84
Figura 21 Ensayo de partículas chatas y alargadas realizado al agregado grueso.....	86
Figura 22 Ensayo de índice de plasticidad.	89
Figura 23 Ensayo de partículas con caras fracturadas.	91
Figura 24 Ensayo de valor de azul de metileno.	94
Figura 25 Densidad relativa y absorción del agregado grueso.	96
Figura 26 Gravedad específica y absorción de agregado fino.....	99
Figura 27 Elaboración de briquetas de 4 pulg.	104
Figura 28 Gravedad específica de las briquetas compactados.....	105
Figura 29 Ensayo para determinación de peso específico máximo teórico (RICE). ..	107
Figura 30 Ensayo de estabilidad y flujo Marshall.	111
Figura 31 Comparación de curvas granulométricas, con parámetros Superpave.....	113



Figura 32	Comparación de curvas granulométricas, con parámetros MAC-01.	114
Figura 33	Comparación de Peso unitario en relación al % de cemento asfáltico.....	116
Figura 34	Comparación de % de vacíos en relación al % de cemento asfáltico.	117
Figura 35	Comparación de % de VMA en relación al % de cemento asfáltico.	117
Figura 36	Comparación de % de VFA en relación al % de cemento asfáltico.....	118
Figura 37	Comparación de flujo (0.01 pulg) en relación al % de cemento asfáltico.	118
Figura 38	Comparación de estabilidad (kgf) en relación al % de cemento asfáltico.	119
Figura 39	Peso unitario en relación al % de cemento asfáltico, MAC-01.....	120
Figura 40	Estabilidad (kgf) en relación al cemento asfáltico (%), MAC-01.....	120
Figura 41	Vacíos (%) en relación al cemento asfáltico (%), MAC-01.....	120
Figura 42	Flujo (0.01 pulg) en relación al cemento asfáltico (%), MAC-01.....	121
Figura 43	VAM (%) en relación al cemento asfáltico (%), MAC-01.	121
Figura 44	VFA (%) en relación al cemento asfáltico (%), MAC-01.....	121
Figura 45	Peso unitario (gr/cm ³) en relación al % de cemento asfáltico, SA.....	124
Figura 46	Estabilidad (kgf) en relación al cemento asfáltico (%), SA.	124
Figura 47	Vacíos (%) en relación al cemento asfáltico (%), SA.....	124
Figura 48	Flujo (0.01 pulg) en relación al cemento asfáltico (%), SA.....	125
Figura 49	VAM (%) en relación al cemento asfáltico (%), SA.....	125
Figura 50	VFA (%) en relación al cemento asfáltico (%), SA.	125
Figura 51	Peso unitario (gr/cm ³) en relación al % de cemento asfáltico, SB.	128
Figura 52	Estabilidad (kgf) en relación al cemento asfáltico (%), SB.	128
Figura 53	Vacíos (%) en relación al cemento asfáltico (%), SB.	128
Figura 54	Flujo (0.01 pulg) en relación al cemento asfáltico (%), SB.	129
Figura 55	VAM (%) en relación al cemento asfáltico (%), SB.....	129
Figura 56	VFA (%) en relación al cemento asfáltico (%), SB.	129
Figura 57	Curva normal de T student para los valores del peso específico para SA.	139
Figura 58	Curva normal de T student para los valores del peso específico para SB..	141
Figura 59	Curva normal de T student para los valores del % de vacíos para SA.....	144
Figura 60	Curva normal de T student para los valores del % de vacíos para SB.....	146
Figura 61	Curva normal de T student para los valores del porcentaje VMA para SA	149
Figura 62	Curva normal de T student para los valores del porcentaje VMA para SB	151
Figura 63	Curva normal de T student para los valores del porcentaje VFA para SA	154
Figura 64	Curva normal de T student para los valores del porcentaje VFA para SB.	156
Figura 65	Curva normal de T student para los valores de la estabilidad para SA.....	159



Figura 66	Curva normal de T student para los valores de la estabilidad para SB.	161
Figura 67	Curva normal de T student para los valores del flujo para SA.	164
Figura 68	Curva normal de T student para los valores del flujo para SB.....	166



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Operacionalización de variables. 25
Tabla 2	Selección del tipo de asfalto 54
Tabla 3	Especificaciones del cemento asfáltico por penetración..... 54
Tabla 4	Especificaciones del cemento asfáltico por viscosidad. 55
Tabla 5	Requerimientos para los agregados gruesos. 56
Tabla 6	Requerimientos para los agregados finos. 57
Tabla 7	Gradación convencional (Marshall)..... 58
Tabla 8	Requisitos para mezcla de concreto bituminoso..... 58
Tabla 9	Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)..... 59
Tabla 10	Gradación Superpave para TM de 19 mm. 60
Tabla 11	Briquetas con granulometría Marshall tipo MAC-01..... 67
Tabla 12	Briquetas con granulometría Superpave, por encima de la restricción..... 67
Tabla 13	Briquetas con granulometría Superpave, por debajo de la restricción. 67
Tabla 14	Selección de asfalto. 71
Tabla 15	Contenido de humedad de la piedra chancada..... 73
Tabla 16	Contenido de humedad de la piedra chancada fina..... 73
Tabla 17	Contenido de humedad de la arena zarandeada. 73
Tabla 18	Ensayo de desgaste por abrasión e impacto, los Ángeles. 82
Tabla 19	Equivalente de arena realizado al agregado fino. 85
Tabla 20	Ensayo de partículas chatas y alargas. 87
Tabla 21	Índice de plasticidad pasante al tamiz N° 200 y N° 40..... 89
Tabla 22	Partículas con caras fracturadas realizadas al agregado grueso..... 91
Tabla 23	Ensayo de desprendimiento de asfalto..... 93
Tabla 24	Ensayo de azul de metileno. 95
Tabla 25	Densidad relativa y absorción para la granulometría MAC-01. 96
Tabla 26	Densidad relativa y absorción para la granulometría SA. 97
Tabla 27	Densidad relativa y absorción para la granulometría SB..... 97
Tabla 28	Gravedad específica y absorción para la granulometría MAC-01..... 100
Tabla 29	Gravedad específica y absorción para la granulometría SA. 100
Tabla 30	Gravedad específica y absorción para la granulometría SB. 101
Tabla 31	Peso específico máximo teórico (RICE) mezcla con MAC-01. 107



Tabla 32	Gravedad específica efectiva de los agregados de MAC-01.	108
Tabla 33	Peso específico máximo teórico (RICE) mezcla con SA.	108
Tabla 34	Gravedad específica efectiva de los agregados de SA.....	109
Tabla 35	Peso específico máximo teórico (RICE) mezcla con SB.....	109
Tabla 36	Gravedad específica efectiva de los agregados SB.....	109
Tabla 37	Control de calidad de los agregados gruesos.	112
Tabla 38	Control de calidad de los agregados finos.	112
Tabla 39	Resumen de resultados de diseño Marshall con MAC-01.....	114
Tabla 40	Resumen de resultados de diseño Marshall con SA.	115
Tabla 41	Resumen de resultados de diseño Marshall con SB.	116
Tabla 42	Resultados teóricos para un 6.0% de C.A. granulometría MAC-01.....	122
Tabla 43	Comprobación para un 6. % C.A. para granulometría MAC-01.	122
Tabla 44	Resultados teóricos para un 5.5% de C.A. granulometría SA.	126
Tabla 45	Comprobación para un 5.5% C.A. para granulometría SA.	126
Tabla 46	Resultados teóricos para un 5.2% de C.A. granulometría SB.	130
Tabla 47	Comprobación para un 5.2% C.A. para granulometría SB.....	130
Tabla 48	Resumen de resultados de propiedades volumétricas.....	131
Tabla 49	Resumen de resultados de propiedades mecánicas.....	134
Tabla 50	Indicadores de la hipótesis específica 1.....	137
Tabla 51	Datos de campo del peso específico de MAC-01 y SA.....	138
Tabla 52	T student de peso específico para MAC-01 y SA.....	138
Tabla 53	Datos de campo del peso específico de MAC-01 y SB.	140
Tabla 54	T student de peso específico para MAC-01 y SB.....	141
Tabla 55	Datos de campo del % de vacíos de MAC-01 y SA.	143
Tabla 56	T student del porcentaje de vacíos para MAC-01 y SA.	143
Tabla 57	Datos de campo del % de vacíos de MAC-01 y SB.	145
Tabla 58	T student del porcentaje de vacíos para MAC-01 y SB.....	146
Tabla 59	Datos de campo del % de VMA de MAC-01 y SA.....	148
Tabla 60	T student del porcentaje VMA para MAC-01 y SA.	148
Tabla 61	Datos de campo del % de VMA de MAC-01 y SB.	150
Tabla 62	T student del porcentaje VMA para MAC-01 y SB.	151
Tabla 63	Datos de campo del % de VFA de MAC-01 y SA.	153
Tabla 64	T student del porcentaje VFA para MAC-01 y SA.	153
Tabla 65	Datos de campo del % de VFA de MAC-01 y SB.....	155



Tabla 66	T student del porcentaje VFA para MAC-01 y SB.....	156
Tabla 67	Indicadores de la hipótesis específica2.....	157
Tabla 68	Datos de campo de la estabilidad de MAC-01 y SA.	158
Tabla 69	T student de la estabilidad para MAC-01 y SA.....	159
Tabla 70	Datos de campo de la estabilidad de MAC-01 y SB.....	160
Tabla 71	T student de la estabilidad para MAC-01 y SB.	161
Tabla 72	Datos de campo del flujo de MAC-01 y SA.....	163
Tabla 73	T student del flujo para MAC-01 y SA.....	163
Tabla 74	Datos de campo del flujo de MAC-01 y SB.....	165
Tabla 75	T student del flujo para MAC-01 y SB.....	166
Tabla 76	Comparación de características volumétricas con los antecedentes.....	168
Tabla 77	Comparación de flujo con los antecedentes.....	171



ACRÓNIMOS

- MAC** : Mezcla asfáltica en caliente con franja granulométrica tipo 1, (metodología Marshall).
- EG-2013** : Especificaciones técnicas generales para la construcción, 2013.
- HMA** : Hot Mix Asphalt, (mezcla asfáltica en caliente).
- SA** : Mezcla asfáltica en caliente con franja granulométrica TMN 19mm (metodología Superpave), granulometría por encima de la restricción.
- SB** : Mezcla asfáltica en caliente con franja granulométrica TMN 19mm (metodología Superpave), granulometría por debajo de la restricción.
- S.S.S.** : Saturado superficialmente seco.
- ABS** : Absorción del agregado .



RESUMEN

La granulometría de los agregados ejerce una influencia significativa en el comportamiento de las carpetas asfálticas, ante esta problemática, la presente investigación buscó determinar la influencia de la granulometría Superpave en las características funcionales de las mezclas asfálticas en caliente. El estudio fue de tipo aplicativo, de nivel explicativo y con diseño cuasi experimental; se evaluaron las características volumétricas y mecánicas de tres diseños de mezclas asfálticas en caliente empleando las siguientes granulometrías: Marshall tipo MAC-01, Superpave por encima de la restricción (SA) y Superpave por debajo de la restricción (SB), haciendo un total de 57 briquetas elaboradas con asfalto 120-150 para un tránsito pesado de ESAL 10^6 millones de ejes equivalentes y un TMN de 19 mm. Según los resultados, el contenido óptimo para SA fue 5.5% , para SB fue 5.2% y para MAC-01 fue 6.0%; el peso específico de SA resultó 2.32 gr/cm³ y de SB resultó 2.31 gr/cm³ respecto al valor de MAC-01 que resultó 2.31 gr/cm³; el porcentaje de vacíos de SA fue 3.92% y de SB fue 4.06% respecto al de MAC-01 que resultó 3.80%. Asimismo, la estabilidad y flujo para SA fue de 1499.98 kgf y 11.20, para SB fue de 1521.06 kgf y 10.37 y para MAC-01 fue de 1386.11 kgf y 9.23. Se concluye que el uso de granulometría Superpave (SA y SB) presentan una mejora en sus características funcionales en comparación del uso de granulometría MAC-01.

Palabras clave: Carpeta asfáltica, Densidad máxima, Estabilidad, MAC-01, Vacíos.



ABSTRACT

The granulometry of aggregates has a significant influence on the performance of asphalt pavements. In view of this problem, the present research sought to determine the influence of Superpave granulometry on the functional characteristics of hot mix asphalt mixtures. The study was of an applicative type, at an explanatory level and with a quasi-experimental design; the volumetric and mechanical characteristics of three designs of hot asphalt mixes were evaluated using the following granulometries: Marshall type MAC-01, Superpave above the restriction (SA) and Superpave below the restriction (SB), making a total of 57 briquettes made with 120-150 asphalt for a heavy traffic of ESAL 10^6 million equivalent axles and a NMT of 19 mm. According to the results, the optimum content for SA was 5.5%, for SB was 5.2% and for MAC-01 was 6.0%; the specific gravity of SA was 2.32 gr/cm³ and of SB was 2.31 gr/cm³ with respect to MAC-01 which was 2.31 gr/cm³; the void percentage of SA was 3.92% and of SB was 4.06% with respect to MAC-01 which was 3.80%. Likewise, the stability and flow for SA was 1499.98 kgf and 11.20, for SB it was 1521.06 kgf and 10.37 and for MAC-01 it was 1386.11 kgf and 9.23. It is concluded that the use of Superpave granulometry (SA and SB) shows an improvement in their functional characteristics compared to the use of MAC-01 granulometry.

Key words: Asphalt pavement, Maximum density, Stability, MAC-01, Voids.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la investigación se elaboraron tres diseños de mezclas asfálticas con la metodología Marshall, empleando la granulometría MAC-01 y Superpave, con el objetivo de determinar la influencia del uso de granulometría Superpave en las características volumétricas y mecánicas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente en el centro poblado Alto Puno.

La organización de esta investigación es la siguiente:

En el capítulo I: Introducción. Se realizó una breve reseña del estudio, formulación, planteamiento de la problemática, justificación, hipótesis, objetivo general, objetivos específicos y operacionalización de variables.

En el capítulo II: Revisión de literatura. Comprende los antecedentes bibliográficos de la investigación, el desarrollo del marco teórico y el marco metodológico, que sustentan el tema en estudio.

En el capítulo III: Materiales y métodos. Se expone el enfoque, tipo y nivel de la pesquisa que se ha desarrollado, el caso de estudio, los ensayos realizados, así como el diseño y verificación del uso de la granulometría Superpave.

En el capítulo IV: Resultados y discusión. Se presenta el producto de los datos procesados, para cada uso granulométrico, junto a su interpretación, discusión y el análisis estadístico.

En el capítulo V: Conclusiones. Se dan a conocer las ideas deducidas en función a los objetivos y resultados del estudio.



En el capítulo VI: Recomendaciones. Se expone sugerencias para futuras investigaciones basadas en la presente investigación.

En el capítulo VII: Referencias bibliográficas. Comprende a los autores cuyos trabajos se han utilizado en este estudio.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La granulometría Superpave, desarrollada por el (SHRP) de Estados Unidos. Representa la distribución óptima de partículas de agregado, ejerciendo un papel decisivo en el porcentaje de vacíos, esto tiene un impacto directo en la resistencia a la fatiga y en la deformación permanente de las mezclas asfálticas. Este método innovador no solo garantiza pavimentos duraderos y resistentes, sino que también se adapta de manera precisa a condiciones específicas de clima y tráfico, mejorando significativamente la eficiencia y sostenibilidad de los pavimentos flexibles (Garnica et al., 2005).

La persistencia del uso de metodologías tradicionales en la construcción de carreteras compromete la calidad y resistencia de las infraestructuras viales en múltiples países. Esta falta de estandarización y actualización a nivel macro no solo limita la eficiencia y durabilidad de las carreteras, sino que también impacta adversamente la conectividad global y la sostenibilidad de las rutas de transporte internacionales (Speight, 2016). A nivel macro, la problemática se concentra en la escasa implementación de metodologías innovadoras, particularmente la infrautilización de la granulometría y enfoques actuales en el diseño de mezclas asfálticas a nivel mundial.

En una perspectiva micro, centrada en la región de Puno, la limitación de laboratorios en equipos e infraestructura representa un desafío específico en la aplicación de métodos modernos en el diseño de mezclas asfálticas. Las carreteras resultantes muestran deficiencias en calidad, afectando la movilidad y afectando el desarrollo



económico regional. La adopción de la granulometría Superpave en la infraestructura vial de Puno reflejaría un avance significativo en la aplicación de prácticas actualizadas, destacando la necesidad apremiante de integrar enfoques actualizados para mejorar la calidad de las carreteras a nivel local.

Las causas del problema se derivan, en gran medida, de la falta de interés y compromiso gubernamental a nivel macro, donde la implementación de nuevas metodologías, como la Superpave. La resistencia al cambio y la falta de conciencia sobre los beneficios que ofrecen otras tecnologías innovadoras contribuyen a la reticencia en adoptar prácticas más avanzadas en el diseño de carreteras. A nivel micro, la limitación la falta de implementación de equipos e infraestructura en laboratorios de pavimentos en la región de Puno para realizar ensayos avanzados refleja una brecha en la de investigación, lo que impide la aplicación efectiva de las metodologías innovadoras de diseño.

Las consecuencias de esta situación son significativas, ya que resultan en carreteras de baja calidad a nivel nacional, con una durabilidad reducida, mayores costos de mantenimiento y riesgos para la seguridad vial. A nivel local, en Puno, la falta de implementación metodologías innovadoras limita la capacidad para diseñar pavimentos adaptados a las condiciones específicas, afectando la eficiencia del transporte y la conectividad regional. En ambos niveles, las consecuencias se traducen en una infraestructura vial ineficiente, comprometiendo el progreso económico y la seguridad en el transporte. Estas causas y consecuencias se basan en problemas generales de gestión y adopción de tecnologías en el ámbito de la infraestructura vial.

El pronóstico de la situación indica que, a menos que se implementen cambios significativos a nivel macro, como un renovado compromiso gubernamental, asignación



de recursos y conciencia sobre la importancia de la adopción de nuevas metodologías o algunos de sus lineamientos, la problemática de la infraestructura vial persistirá a nivel nacional. Esto resultará en carreteras de baja calidad, con impactos económicos adversos y riesgos para la seguridad vial. A nivel micro, en la región de Puno, el pronóstico señala que, sin inversión en infraestructura de investigación y en la adopción de metodologías actualizadas, continuará, afectando la calidad de los pavimentos flexibles locales.

Para controlar y mejorar el pronóstico de la situación, es esencial implementar un enfoque integral que abarque tanto a nivel macro como micro. A nivel macro, se requiere la formulación y aplicación de políticas gubernamentales que prioricen la inversión y actualización tecnológica en la infraestructura vial a nivel nacional. Esto debe ir acompañado de campañas de concientización sobre los beneficios de la granulometría Superpave y otras metodologías avanzadas. A nivel micro, específicamente en la región de Puno, se debe promover la creación de laboratorios de investigación capaces de realizar ensayos avanzados. La implementación de programas de capacitación para el personal técnico y la creación de incentivos para la adopción de metodologías innovadoras serán cruciales. El monitoreo continuo de indicadores clave de rendimiento permitirá evaluar la efectividad de estas medidas y realizar ajustes estratégicos según sea necesario, garantizando así un control proactivo y sostenible de la mejora en la calidad de la infraestructura vial en Perú.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema principal

¿Cuál es la influencia del uso de granulometría Superpave en las características funcionales del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno?



1.2.2 Problemas específicos

¿De qué manera influye el uso de la granulometría Superpave en las características volumétricas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno?

¿De qué manera influye el uso de la granulometría Superpave en las características mecánicas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis general

H0: El uso de la granulometría Superpave mejora las características funcionales del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno.

1.3.2 Hipótesis específicas

H1: El uso de la granulometría Superpave mejora las características volumétricas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno.

H2: El uso de la granulometría Superpave mejora las características mecánicas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La subestimación de la granulometría de agregados en el diseño tradicional de carpetas de rodadura, entre otros, impacta negativamente en los pavimentos flexibles post



construcción, a pesar de que cumplen con la normativa. En este contexto de evolución constante en el diseño de pavimentos, la implementación de la granulometría Superpave se presenta como una alternativa para garantizar la vida útil de los pavimentos flexibles. Esta investigación, busca no solo cumplir con la normativa vigente (EG 2013), sino también mejorar las propiedades mecánicas y volumétricas, aportando soluciones en el diseño de mezclas asfálticas en caliente y en su durabilidad, reconociendo la importancia de adoptar enfoques actualizados en el diseño pavimentos.

En ese sentido el estudio se justifica a nivel social, puesto que al desarrollar mezclas asfálticas de calidad disminuirían los problemas en movilidad y seguridad vial. Esta iniciativa establece las bases de un desarrollo urbano sostenible y equitativo a largo plazo.

La justificación económica de la investigación se sustenta que, al mejorar las características funcionales de las mezclas asfálticas favorecerá a la durabilidad de los pavimentos flexibles, lo que reduciría los costos de mantenimiento a largo plazo.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la influencia del uso de granulometría Superpave en las características funcionales del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno.

1.5.2 Objetivos específicos

Evaluar la Influencia del uso de granulometría Superpave en las características volumétricas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno.

Evaluar la Influencia del uso de granulometría Superpave en las características mecánicas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno.

1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de las variables en estudio, se presenta en la tabla 1.

Tabla 1

Operacionalización de variables

TIPO	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
VARIABLE INDEPENDIENTE	Granulometría Superpave	Franja granulométrica Superpave en MAC	gradación de agregados	%
			contenido óptimo de asfalto	%
VARIABLE DEPENDIENTE	Características funcionales de las MAC	Características volumétricas	Peso específico	gr/cm ³
			% vacíos	%
			Vacíos en el agregado mineral	%
			Vacíos llenos con asfalto	%
			Estabilidad	kg
VARIABLE DEPENDIENTE	Características mecánicas	Características mecánicas	Flujo	0.01 pulg

Nota: variables en estudio analizadas y operacionalizadas



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

2.1.1 Antecedentes internacionales

Parra & Pedroza (2015) realizaron una investigación con el propósito de examinar cómo las mezclas asfálticas resisten la acumulación de deformaciones permanentes, que comúnmente se conoce como ahuellamiento. El estudio fue de tipo aplicativo, de nivel explicativo y con diseño experimental; para lo cual se emplearon agregados de tres canteras, “para evaluar el efecto que estos tienen, según diferente granulometría, en la resistencia al ahuellamiento. Los resultados obtenidos indican que se presenta mayor resistencia al ahuellamiento en el límite inferior de la franja granulométrica, donde los agregados pétreos tienen mayor concentración de gruesos”. Concluyendo que “presentaron mayores deformaciones las mezclas fabricadas con la cantera de Nobsa, seguidas por las canteras de Monquirá y Samacá; las mezclas fabricadas con combinación de agregados del límite inferior de la franja granulométrica presentan mayor resistencia a la deformación plástica que los agregados con gradaciones del límite superior.”

Reyes & Camacho (2008) en su investigación trazaron como objetivo determinar la incidencia en el ahuellamiento de mezclas asfálticas, al variar su granulometría en la franja superior, inferior y media. La pesquisa fue de tipo aplicativo, de nivel explicativo y con diseño experimental; se realizó “la caracterización de los materiales, seguido de la determinación del porcentaje óptimo de asfalto y se construyeron briquetas con diferentes franjas



granulométricas para evaluar la resistencia al ahuellamiento”. Entre los resultados encontrados “se determinó que la deformación permanente está directamente relacionada con las franjas granulométricas y la energía de compactación. Las conclusiones indican que, la velocidad de deformación para la mayoría de las mezclas estudiadas, en sus diferentes franjas, depende de la energía de compactación; que a mayor energía (75 golpes por cara) menor velocidad de deformación; y el ahuellamiento de las mezclas asfálticas está directamente relacionada con la franja granulométrica utilizada.”

Sequeira et al. (2007) en su artículo fijaron como objetivo analizar el comportamiento de mezclas con graduación discontinua utilizando agregados y asfaltos, con el fin de generar especificaciones enfocadas a la utilización de mezclas más resistentes a la deformación plástica. La investigación fue de tipo aplicativo, de nivel explicativo, con diseño experimental; llevaron a cabo la identificación de las propiedades de los materiales y la elección de las distribuciones granulométricas para la confección de briquetas. Los resultados que obtuvieron fueron que, “para un aumento en los materiales más gruesos (por encima de la malla No.8) es de esperar que el % VAM aumente, y por consiguiente el asfalto óptimo y el porcentaje de escurrimiento también; y entre mayor sea el porcentaje pasando la malla No. 8 dentro de este rango el contenido de asfalto óptimo se reduce drásticamente”. Entre las conclusiones sostienen que, “de acuerdo con los modelos desarrollados el porcentaje de asfalto óptimo (% Asf opt) aumenta al incrementar el porcentaje pasando la malla 3/8 y disminuye al aumentar los porcentajes pasando las mallas No.4 y No.8; y los vacíos en el agregado mineral (% VAM) aumentan al aumentar el porcentaje pasando la malla 3/8 y disminuyen al aumentar los porcentajes pasando las mallas No.4 y No.8.”



Marin & Guzman (2003) en su tesis tuvieron como objetivo comparar el comportamiento de mezclas diseñadas mediante la metodología Marshall, utilizado en Colombia, y por la metodología volumétrica Superpave con agregados de la región, con asfalto nacional y teniendo en cuenta las condiciones del clima y tránsito colombianas. La indagación fue de diseño experimental puro. Los resultados demostraron que las mezclas Superpave exhiben valores de estabilidad superiores a las de Marshall, aunque no se observa una correlación significativa entre la estabilidad y el módulo. Además, los elevados flujos logrados por las mezclas Superpave sugieren que los criterios de estabilidad y flujo de Marshall no proporcionan una evaluación precisa del comportamiento de la mezcla. Como conclusión, se destaca que el método de diseño volumétrico Superpave permite la creación de mezclas con una calidad superior en comparación con las mezclas tradicionales, utilizando los mismos materiales. También se concluye que las mezclas fabricadas en laboratorio mediante el método Superpave ofrecen una predicción más certera del comportamiento de la mezcla.

Istupe (2017) en su tesis estableció como objetivo determinar las diferentes características del diseño de granulometría para mezclas asfálticas en caliente por medio de las especificaciones de la Dirección General de Caminos y el método de abertura de tamices elevado a la potencia 0,45. El estudio fue de tipo aplicativo, de nivel explicativo, con diseño experimental; se especificó la calidad de los agregados y cemento asfáltico, y luego se elaboraron los dos tipos de mezclas asfálticas a evaluar. Entre los hallazgos se destaca que ambos diseños cumplen con los parámetros establecidos en términos de estabilidad y flujo. Además, se observa que la gravedad específica Bulk de la granulometría del diseño Marshall



supera a la del diseño 0,45, y los vacíos exhiben un comportamiento más consistente en las dosificaciones elevadas, siguiendo la potencia 0,45. En las conclusiones se resalta que la diferencia entre las granulometrías radica en que Superpave reduce el rango de tamaños de abertura de tamices, el flujo en la mezcla diseñada con Superpave permanece dentro de las especificaciones y experimenta cambios menos drásticos. Un control más eficiente de la granulometría utilizada garantiza que la deformación se mantenga dentro de los parámetros establecidos a lo largo de todo el proceso de diseño. Asimismo, se logra un mejor control de los vacíos en la mezcla, evitando cambios bruscos o porcentajes demasiado bajos. “Los cambios mecánicos en la mezcla son más estables con la aplicación de la granulometría Superpave, asegurando que se mantengan dentro de las especificaciones requeridas.”

Delgado et al. (2006) en su investigación fijaron como objetivo analizar la influencia de la granulometría en el desempeño de la mezcla asfáltica, tomando como referencia del método Superpave en lo que se refiere a la zona restringida de la granulometría de Fuller. La pesquisa fue de nivel explicativo, con diseño experimental; se ha presentado una descripción exhaustiva de las propiedades físicas de la mezcla asfáltica. Además, se ha investigado “la influencia de estos parámetros en el rendimiento general de la mezcla asfáltica. En relación a los resultados, es notable que los contenidos de asfalto para las granulometrías 1 y 3 son similares. Sin embargo, se observa que la granulometría 3 no cumple con la especificación de VFA, aunque las propiedades de VAM y Gmb satisfacen las especificaciones establecidas para las tres granulometrías”. Se concluye que la granulometría 1 exhibe un mejor desempeño al atravesar la zona de restricción, y



que las granulometrías 1 y 3 presentan propiedades volumétricas similares a pesar de sus posiciones casi opuestas en la especificación .

2.1.2 Antecedentes nacionales

Scaramutti & Vásquez (2020) en su investigación el objetivo planteado consistió en “evaluar la influencia de la variabilidad granulométrica del agregado en la deformación permanente de micropavimentos, además de brindar una propuesta de mejora a la EG 2013”. Su análisis fue de nivel explicativo, diseño cuasi experimental y un enfoque cuantitativo; emplearon micropavimentos utilizados en el mantenimiento de carreteras. Entre sus resultados se encuentra que, “entre más cercano sea el agregado a los gruesos, es mucho más probable que exista un ahuellamiento; y existe un rango admisible promedio entre la recta B y C, que teóricamente no permitirá que exista ahuellamiento”. Concluyen que, “la muestra A, como la muestra B (las cuales tienen un mayor porcentaje de finos) no presentan exudación lo cual demuestra que el micropavimento será resistente y durable, conservando sus propiedades mecánicas y su integridad, por el tiempo de vida útil del micropavimento.”

Aguilar (2019), su tesis se centró en examinar cómo la humedad afecta el rendimiento de la capa asfáltica en el departamento de Arequipa, específicamente en la ciudad de Arequipa. Esto se logró mediante el análisis de pruebas de rendimiento por humedad en las mezclas asfálticas, utilizando la metodología Marshall y siguiendo los requisitos granulométricos de Mac y Superpave para tránsito pesado de ESAL 10^6 millones de ejes equivalentes. Se utilizó una mezcla que incluía cemento asfáltico PEN 85/100. La investigación fue de nivel explicativo, con diseño experimental y enfoque cuantitativo; se determinaron las



proporciones de agregados para las granulometrías Mac y Superpave, después de analizar las propiedades de volumen de las mezclas asfálticas. Posteriormente, se procedió a compactar nuevos especímenes con un 7% de vacíos, los cuales fueron sometidos a ensayos de TSR (Resistencia a la Deformación por Tracción) y Ensayo de Prueba de Hamburgo Wheel Track. Entre los resultados obtenidos, se observó que el % de VMA y Va en la mezcla con granulometría Superpave fue inferior a la MAC, y la estabilidad de MAC-01 fue aprox. 150kgf mayor a la de Superpave. Se concluye que MAC presenta una mayor resistencia a las cargas en comparación con Superpave.

Boza & Ríos (2022), en su estudio definieron como objetivo analizar la granulometría de los agregados y su influencia en las mezclas asfálticas por medio de la comparación de las propiedades físicas, mecánicas y volumétricas obtenidas empleando la metodología Marshall con la granulometría convencional MAC-02 y la propuesta de mejora con la granulometría Superpave. La pesquisa fue de orientación aplicativa, de nivel explicativa, y de diseño experimental; en el proceso, se fabricaron 15 probetas de asfalto para la granulometría MAC-02 y 15 para la granulometría Superpave, permitiendo determinar el porcentaje óptimo de asfalto y, por ende, obtener los valores dimensionales de la mezcla asfáltica en caliente, se evaluaron diversas propiedades como la estabilidad, el flujo, la relación entre estabilidad y flujo, así como el porcentaje de VMA. Los resultados revelaron que, para la mezcla asfáltica con un 6.3% de CA y granulometría MAC-02, la estabilidad alcanza los 1421 kg, mientras que empleando la granulometría Superpave con un 6.3% de asfalto óptimo, la estabilidad es de 1053 kg. Además, el porcentaje de VMA, tanto para la granulometría MAC-02 como para Superpave, supera el límite inferior propuesto del 14%. En conclusión, se determinó que la



granulometría Superpave, en comparación con la granulometría MAC-02, no tiene una influencia significativa en el flujo; sin embargo, sí afecta de manera considerable la relación estabilidad/flujo, mientras que no tiene un impacto significativo en el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

Ñahui & Sedano (2018), en su tesis establecieron como objetivo determinar la calidad de los agregados de la cantera de Ocopa para la elaboración de la mezcla asfáltica para pavimentos flexibles en el distrito de Lircay, Angaraes, Huancavelica. El estudio fue de tipo básico, de nivel descriptivo; se ubicaron bancos de material de mayor volumen, extrayendo muestras, posteriormente, se llevaron a cabo “diversos ensayos en el laboratorio de mecánica de materiales y asfalto, con el propósito de analizarlas conforme a las normativas ASTM y MTC”. Entre los resultados, se precisa que, “el agregado grueso de la cantera de Ocopa está bien graduado, y cumple con la norma ASTM C-33”. Concluyeron que, del “análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera de Ocopa es óptimo para la fabricación de mezclas bituminosas; y el análisis de las granulometrías finas de la cantera de Ocopa son óptimas para elaboración de mezclas asfálticas.”

Tafur (2014), en su tesis, estableció como meta examinar cómo la granulometría afecta el rendimiento de las mezclas asfálticas en caliente. Para lograr esto, se llevó a cabo el diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método convencional Marshall. Se utilizaron tanto la granulometría MAC-2 como los criterios de la granulometría empleada por la metodología Superpave, que incluye una zona restringida y puntos de control. El análisis fue de nivel explicativo, con diseño experimental y enfoque cuantitativo; se confeccionaron briquetas cilíndricas de mezclas asfálticas en caliente, variando únicamente la granulometría. Los hallazgos revelaron que las mezclas que fueron elaboradas



utilizando la granulometría MAC-2, la cual cumple con los criterios de la zona restrictiva de la metodología Superpave, demostraron un rendimiento mejorado en comparación con aquellas mezclas que utilizaron la misma granulometría, pero no se ajustaron a dicha zona restrictiva. Por lo tanto, se concluye que la utilización de granulometrías que transitan a través de la zona restrictiva de la metodología Superpave resulta en un rendimiento satisfactorio para las mezclas asfálticas en caliente.

Conde & Palomino (2022), en su tesis tuvieron como objetivo determinar la incidencia de la calidad de los agregados en las características mecánicas de las mezclas asfálticas. La investigación fue de tipo descriptivo, nivel explicativo, de diseño no experimental transversal; para lo cual realizaron un análisis de toda su fuente bibliográfica. En sus resultados, se determinó que tanto el peso específico como la absorción tienen un impacto en la impermeabilidad y la resistencia a la fatiga, mientras que la angularidad y textura afectan la estabilidad y flexibilidad. La granulometría, por su parte, incide en la durabilidad, la trabajabilidad y la resistencia al deslizamiento. De sus conclusiones se destaca que la granulometría indica que conforme incrementa el tamaño de las partículas de los agregados, este estudio revela que un aumento en el tamaño de las partículas de los agregados conlleva a una mayor rigidez, resultando en un pavimento menos duradero. Además, señala que el porcentaje de finos complementa el contenido de vacíos en los agregados gruesos, lo que resulta en una disminución del porcentaje de vacíos en la mezcla y, por ende, en una menor energía requerida para la compactación, logrando una mayor trabajabilidad. También se concluye que la estabilidad disminuye en 150 kg por cada 0.6% de aumento en los vacíos de la mezcla asfáltica.



2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Mezclas asfálticas

“Una mezcla asfáltica es una combinación homogénea de material pétreo y asfáltico y eventualmente aditivos” (Delgado, 2022, p. 3).

2.2.1.1 Propiedades de las mezclas asfálticas

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en la selección de la granulometría del agregado a emplear, y del contenido de asfalto, de tal manera que se obtengan las propiedades deseadas en la mezcla y se satisfagan los requisitos específicos del proyecto (Garnica et al., 2005, como se citó en Cepeda, 2002).

Las características importantes en una mezcla asfáltica son:

Durabilidad. Se refiere a la capacidad para soportar la desintegración causada por las condiciones climáticas y el tráfico. La exposición al clima provoca alteraciones en el ligante, como oxidación y volatilización, mientras que los efectos del agua, incluyendo el congelamiento y descongelamiento, ocasionan modificaciones en el agregado. La durabilidad generalmente aumenta cuando se tienen contenidos altos de asfalto (espesor de película altos), gradaciones densas de agregados y bien compactados, mezclas de pavimento impermeables (Marin & Guzman, 2003, p. 63).

Estabilidad. Esta característica se relaciona con la habilidad de la mezcla para oponerse a la deformación y el desplazamiento, provocados por la carga generada por el tráfico vehicular. Si un pavimento es estable,



quiere decir que es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, si es inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otros defectos que indican cambios en la mezcla (Acevedo, 2021, p. 22).

Resistencia a la fatiga. El contenido efectivo de asfalto en la mezcla de asfalto en caliente (HMA) se destaca como uno de los elementos de diseño más críticos que influye en la resistencia a la fatiga de la mezcla. La capacidad de resistencia a la fatiga mejora a medida que aumenta el contenido efectivo de ligante. Por consiguiente, para prevenir el agrietamiento desde la parte superior, se sugiere emplear mezclas densamente graduadas que incorporen tamaños nominales de agregado máximo más pequeños, especialmente en el caso de áreas con altos niveles de tráfico, en las cuales también se debe considerar el uso de mezclas de asfalto en caliente (HMA). El aumento del requerimiento de VMA aumenta el contenido de ligante eficaz de estas mezclas sobre mezclas densas graduadas normales (Menéndez, 2016, p. 248).

Impermeabilidad. “Se refiere a su capacidad para prevenir el ingreso de agua y aire al interior o a través de ella”. La resistencia al daño por humedad se relaciona con las propiedades químicas del agregado mineral y el contenido de vacíos de aire en la mezcla compactada, y por tanto con los procesos de oxidación del asfalto, su adherencia y el drenaje del pavimento (Garnica et al., 2005, p. 3).

Trabajabilidad. Se refiere al uso de mezclas que pueden compactarse adecuadamente en condiciones de laboratorio pero que pueden ser complejas para compactar en campo. En el caso de una mezcla



asfáltica, es posible que sea necesario realizar ajustes en el diseño de la mezcla para garantizar que se pueda utilizar en una carretera sin sacrificar el rendimiento por encima de lo determinado en laboratorio (Speight, 2016, p. 412).

2.2.2 Métodos de diseño de mezclas asfálticas

2.2.2.1 Metodología Marshall

“La metodología Marshall en el diseño de mezclas asfálticas fue desarrollada por Bruce Marshall, ingeniero especializado en asfaltos, que trabajaba en el Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas” (Delgado et al., 2005, p. 1).

Una característica clave del método es que las mezclas de asfalto se compactan en un molde de 102 mm (4 pulgadas) de diámetro utilizando un peso de 4,5 kg (10 lb). Los experimentos consistieron en variar el número de veces que el peso o "martillo" caía sobre la probeta. Este número de "caídas" también se denomina "golpes". Estos impactos provocan la densificación o compactación de la mezcla asfáltica en el molde de la probeta. El objetivo del experimento de compactación en laboratorio era determinar un procedimiento de preparación en laboratorio que supusiera el mínimo esfuerzo y tiempo, pero que proporcionara una base para seleccionar el contenido óptimo de ligante asfáltico para la mezcla. En la mayoría de los casos, se debe seleccionar el contenido



óptimo de aglutinante para el cual las muestras compactadas tengan un 4 por ciento de vacíos de aire (Lavin, 2003, p. 142).

2.2.2.2 Metodología Hveem

Francis Hveem, mientras era ingeniero en el Departamento de Transporte de California, creó este método en 1940. La estandarización de este método se encuentra especificada en la norma ASTM 1560 y ASTM 1561. Hoy en día no es comúnmente utilizado (Marin & Guzman, 2003, p. 77).

“El método Hveem emplea muestras de prueba estándar con dimensiones de 63,5 mm (2 ½ pulgadas) de altura por 101,6 mm (4 pulgadas) de diámetro”. Estas mezclas se elaboran siguiendo un procedimiento específico que implica el calentamiento, mezclado y compactación de asfalto y agregados. Las características fundamentales del método Hveem para el diseño de mezclas incluyen la capacidad de la superficie y la prueba equivalente de keroseno en la centrífuga (CKE) en “los agregados para estimar los requisitos iniciales de asfalto de la mezcla, seguida de la prueba de estabilómetro, una prueba de cohesiómetro, una prueba de dilatación y un análisis de vacíos de densidad en probetas de las mezclas de pavimentación compactadas”. La prueba de estabilómetro utiliza “una celda de prueba especial de tipo triaxial para medir la resistencia de la mezcla compactada al desplazamiento lateral bajo la carga vertical, y la prueba de dilatación evalúa la capacidad de la mezcla para resistir la acción del agua”. Las muestras se mantienen a 60 °C (140 °F)



para la prueba de estabilidad, mientras que la prueba de dilatación se realiza a temperatura ambiente (Hadi, 2015, p. 92).

2.2.2.3 Metodología Superpave

En 1987, el Strategic Highway Research Program (SHRP) fue establecido por el Congreso de los Estados Unidos con un presupuesto de 150 millones de dólares en programas de investigación, a fin de mejorar el desempeño y duración de las carreteras volviéndolas más seguras tanto para automovilistas como para los trabajadores de las mismas (Delgado et al., 2005, p. 3).

“El método Superpave se apoya en los principios básicos de comportamiento de asfaltos”, teniendo en cuenta que este comportamiento está sujeto a la temperatura y la duración de la carga. En condiciones de “altas temperaturas (climas cálidos) o cargas sostenidas bajas (camiones a baja velocidad), el asfalto exhibe propiedades de un líquido viscoso, fluyendo y quedando vulnerable a deformaciones permanentes”. A bajas temperaturas (próximas a la congelación) o corto tiempo de aplicación de carga (camiones a alta velocidad) el asfalto se comporta como un sólido elástico y por lo tanto propenso a agrietamientos (Montejo, 2002, p. 668).

2.2.3 Tipos de mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas se clasifican en diversas categorías según diferentes parámetros. La fracción de agregado pétreo utilizada en la mezcla determina su categoría, que puede ser mastico, mortero, macadam y concreto asfáltico. Si se considera la temperatura, se categorizan en mezclas en frío y en caliente. La clasificación de las mezclas asfálticas, “basada en el porcentaje de vacíos de aire,



las divide en densas o cerradas (con menos del 6% de vacíos), semidensas o semicerradas (con entre el 6% y el 12% de vacíos), abiertas (con entre el 12% y el 18% de vacíos) y porosas (con más del 20% de vacíos)". Otra categorización se realiza según el esquema de los agregados, diferenciándolas en mezclas con o sin estructura mineral. Si se considera la curva granulométrica, se clasifican en mezclas asfálticas continuas o mezclas discontinuas (Garnica et al., 2005, como se citó en Cepeda, 2002).

2.2.4 Mezclas asfálticas en caliente

“Son las elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos, en una planta mezcladora estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla” (Delgado, 2022, p. 3).

2.2.4.1 Comportamiento de ligante asfáltico

Tres parámetros del asfalto son importantes en el desempeño de la mezcla, los cuales son: sensibilidad a las variaciones de temperatura, viscoelasticidad y características de envejecimiento. Las características del asfalto varían en función de la temperatura puesto que el asfalto es más rígido a temperaturas más frías. Es por eso que una temperatura de prueba específica acompaña casi todos los ensayos de ligantes y mezclas asfálticas. Si no se especifica una temperatura de prueba, los resultados no se interpretan de manera efectiva. Por la misma razón, la actuación del ligante asfáltico también está condicionada por la duración de la carga; el asfalto es más rígido con un tiempo de carga más corto. La dependencia del comportamiento del ligante asfáltico con la temperatura y la duración



de la carga significa que estos dos factores se pueden usar indistintamente (Hadi, 2015, p. 14).

2.2.4.2 Comportamiento de los agregados minerales

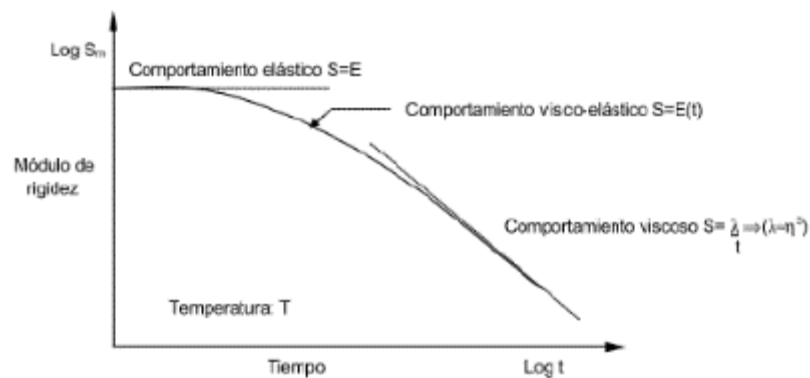
Los agregados minerales empleados en las mezclas asfálticas son de origen natural, triturados o sintéticos. Los agregados triturados se explotan en canteras, y reducidos a los tamaños deseados mediante trituración mecánica; mientras que el agregado sintético es un subproducto industrial, como la escoria de altos hornos (Garnica et al., 2005, p. 10).

2.2.4.3 Comportamiento de mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas se componen de agregados, asfalto y aire. Es crucial que los componentes de la mezcla se proporcionen adecuadamente para garantizar su comportamiento apropiado durante su vida útil. Los tres tipos de falla que se presentan con mayor frecuencia en las carpetas asfálticas y que deben ser consideradas al momento de dosificar las mezclas son: deformación permanente, agrietamiento por fatiga y agrietamiento por gradiente térmico y baja temperatura (Menéndez, 2016, p. 217).

Figura 1

Comportamiento de una mezcla asfáltica



Nota: tomado de (Garnica et al., 2005, p. 12)

2.2.4.4 Clasificación de las mezclas asfálticas en caliente

Las mezclas asfálticas en caliente (HMA) puede describir cualquier mezcla asfáltica que se mezcla en caliente. HMA generalmente describe una mezcla densa y graduada. Antes de la mezcla, se calientan tanto el agregado como el ligante asfáltico con el fin de secar el agregado y lograr la fluidez adecuada del ligante asfáltico para recubrir el agregado. El calentamiento, dosificación y mezcla se realiza en una planta mezcladora HMA. Las mezclas asfálticas se pueden producir a partir de muchos tipos y combinaciones de agregados diferentes. Cada mezcla tiene sus propias características adecuadas a un diseño y uso constructivo específico. El diseño de HMA y otras mezclas implica principalmente seleccionar y dosificar ingredientes para obtener propiedades específicas de construcción y desempeño del pavimento (Lavin, 2003, p. 117).



2.2.5 Elementos constituyentes de las mezclas asfálticas en caliente

2.2.5.1 Asfalto

El asfalto es reconocido como uno de los ligantes más antiguos empleados por la humanidad, gracias a sus destacadas propiedades adhesivas, impermeables, flexibles y duraderas. Los asfaltos son materiales termoplásticos que se funden gradualmente al ser calentados (Marin & Guzman, 2003, p. 30).

2.2.5.2 Agregados

El término técnico "agregados pétreos" en pavimentos se refiere a una combinación de partículas inertes que incluyen gravas finas y/o filler. Estos materiales se utilizan en la preparación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos, materiales estabilizados, así como en la construcción de capas de terraplén, afirmado, subbase y/o base granular. En términos generales, las partículas con un diámetro entre 2 mm y 6.4 cm se clasifican como arenas, ya sean gruesas o finas. Aquellas con un diámetro inferior a 0.075 mm se categorizan como tamaño de arcilla en un ensayo de granulometría mediante cribado o tamizado. Estas últimas pueden ser denominadas como filler o llenante mineral si no muestran plasticidad al estar en contacto con el agua (Rondon & Reyes, 2015, p. 70).

Los agregados tienen la contribución más significativa en la capacidad de carga de una mezcla asfáltica. Los agregados también determinan la textura de la superficie y la resistencia al deslizamiento del pavimento. El aglutinante asfáltico se utiliza para cementar las partículas de agregado. La gradación de la mezcla asfáltica es la variable principal



que el diseñador puede modificar para obtener las propiedades deseadas (Lavin, 2003, p. 121).

Agregado grueso, “Se denominará así a los materiales retenidos en la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesados o combinación de ambos.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, p. 370).

El agregado grueso se produce a partir de la trituración de roca, grava o una mezcla de ambas. Sus componentes deben ser limpios, fuertes y duraderos, sin una cantidad excesiva de partículas planas, alargadas, blandas o susceptibles de desintegración. Además, debe estar libre de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias no deseadas que puedan afectar la adherencia con el asfalto (MTC, 2013, p. 470).

Agregado fino, “Se denominará así a los materiales que pasan la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesados o combinación de ambos.” (MTC, 2013, p. 371).

Las partículas del agregado fino deben exhibir características de dureza, limpieza y contar con una superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación (MTC, 2013, p. 470).

Filler, es el término utilizado para referirse al polvo mineral o llenante, el cual puede ser obtenido mediante la trituración de agregados pétreos o suministrado a través de productos comerciales como cal hidratada o cemento Portland, puede emplearse en una fracción del



material clasificado, siempre y cuando se confirme su falta de actividad y su carácter no plástico. Su peso unitario aparente, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm³ y su coeficiente de emulsibilidad deberá ser inferior a 0,6 (MTC, 2013, p. 470).

2.2.6 Propiedades de consenso de los agregados

Los requisitos (frecuentemente denominados requisitos de consenso) surgieron debido a la necesidad de abordar específicamente las propiedades de los áridos y también la necesidad de orientación asociada al método de diseño de mezclas Superpave. Por lo tanto, se llegó a un consenso sobre varios requisitos de las propiedades de los áridos y se recomendó que (i) la angulosidad mínima, (ii) la partícula plana o alargada, y (iii) el contenido de arcilla debería tenerse en cuenta. Estos requisitos se imponen a la mezcla final de áridos y no a las fuentes individuales de áridos (Speight, 2016, p. 384).

Los agregados utilizados en las mezclas asfálticas deben tener caras fracturadas y una superficie rugosa, comúnmente obtenidos a través del proceso de chancado. Los agregados con estas características tienen una mejor trabazón y mayor resistencia cortante, caso contrario al de agregados con partículas redondeadas que se deslizan una sobre otras (Minaya & Ordóñez, 2006, p. 170).

a. Angularidad de agregado grueso

Esta característica garantiza una fricción interna elevada en el agregado y proporciona “una mayor resistencia al ahuellamiento, definida como el porcentaje en peso del agregado con tamaño mayor a 4.75 mm que presenta una o más caras fracturadas, según la norma ASTM D 5821”. "Determinación del porcentaje de partículas fracturadas en agregados gruesos") (Pineda & Hernández, 2014, p. 57).



b. Angularidad del agregado fino

La forma angular del agregado fino garantiza una fricción interna elevada y resistencia a la formación de surcos. Se define como el % VMA poco compactados que pasan por el tamiz N° 8 (2,36 mm) (AASHTO T 304), “Contenido de vacíos no compactados de agregado fino”). Esta propiedad está influenciada por la forma de las partículas, la textura de la superficie y su clasificación (Hadi, 2015, p. 21).

c. Partículas planas y alargadas

La presencia de partículas aplanadas y alargadas es una característica del agregado grueso. Es el porcentaje en masa de los agregados gruesos que tienen una relación de dimensiones máxima a mínima mayor a cinco. Demasiadas partículas de agregado planas y alargadas en una mezcla son indeseables ya que tienden a romperse durante la construcción o bajo el tráfico. Los agregados de tamaño superior a 4,75 mm se miden utilizando un dispositivo de calibre proporcional. El procedimiento se puede completar siguiendo la norma ASTM D4791, Método de prueba estándar para partículas planas y alargadas en agregado grueso (Lavin, 2003, p. 175).

d. Contenido de arcilla

La proporción de arcilla en la fracción de agregado menor de 4.75 mm constituye el contenido de arcilla ASTM D 2419, “Finos plásticos en agregados graduados y suelos usando el ensayo del equivalente de arena” (Marin & Guzman, 2003, p. 60).



2.2.7 Propiedades de origen de los agregados

a. Tenacidad (*abrasión de los Ángeles*)

Las pruebas de tenacidad evalúan la capacidad del agregado grueso para resistir la abrasión y la degradación mecánica, siendo la prueba de abrasión de Los Ángeles la evaluación de dureza más común ASTM (C131). La pérdida en la prueba de abrasión de Los Ángeles se considera una medida estandarizada de la degradación de agregados, que resulta de una combinación de acciones como abrasión, impacto y trituración. Esta evaluación se realiza “en un tambor de acero giratorio que contiene esferas de acero”. Es un método de prueba común utilizado para indicar la dureza del agregado y las características de abrasión que son importantes porque el agregado constituyente en la mezcla debe resistir el aplastamiento, degradación y desintegración para producir una mezcla asfáltica en caliente de alta calidad. En la prueba, el agregado es sometido a impacto y aplastamiento (Speight, 2016, p. 220).

b. Gradación

Aunque la curva granulométrica no tenga un impacto tan evidente “como el contenido de asfalto, su influencia puede manifestarse a través de dos factores: el TM del agregado y el tipo de curva”. Estos dos factores tienen influencia en el porcentaje de vacíos, por ende, sobre la resistencia a la fatiga y la deformación permanente (Garnica et al., 2005, p. 13).

Se debe tener en cuenta que: “*Tamaño máximo nominal*, es un tamaño de malla, mayor a la primera malla que retiene el 10% del material” (Delgado et al., 2006, p. 6).



Tamaño máximo, un tamaño de malla mayor al tamaño máximo nominal”

(Delgado et al., 2006, p. 6).

c. *Gravedad específica*

La densidad relativa de un material se describe como la relación entre su peso por unidad de volumen y el peso de un volumen equivalente de agua a 23 °C. Este aspecto es esencial para calcular las características volumétricas de una mezcla y para realizar cualquier cálculo que requiera determinar la masa de un volumen o viceversa. Estas pruebas se basan en el principio de Arquímedes, el cual establece que un sólido sumergido en el agua es sometido a una fuerza vertical boyante igual al peso del agua que desplaza (Menéndez, 2016, p. 139).

2.2.8 Parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica en caliente

2.2.8.1 Ligante asfáltico

Gravedad específica del ligante asfáltico (G_b), “Es la relación entre la masa de un volumen dado de ligante asfáltico y el peso de igual volumen de agua (ASTM D 70). Generalmente los valores se especifican entre 1.015 y 1.05” (Delgado et al., 2006, p. 55).

2.2.8.2 Agregado pétreo

Gravedad específica neta (G_{sb}), “es la relación entre la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (considera sólo el volumen de los poros permeables al agua) y la masa de igual volumen de agua” (Garnica et al., 2005, como se citó en FHWA, 1995).

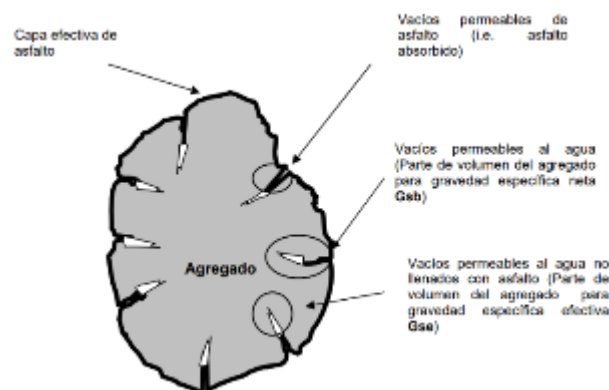
Gravedad específica aparente (G_{sa}), “se determina midiendo tanto la masa seca como el volumen aparente de la muestra de agregado (ASTM

C 128). El volumen aparente sólo incluye el volumen del sólido del agregado y no incluye el volumen de los poros de la superficie” (Delgado et al., 2006, p. 55).

Gravedad específica efectiva (Gse), “Es la relación entre la masa seca y volumen de material permeable. (excluyendo los huecos permeables al ligante asfáltico) con una temperatura determinada.” (Speight, 2016, p. 612).

Figura 2

Gravedades específicas determinadas al agregado pétreo



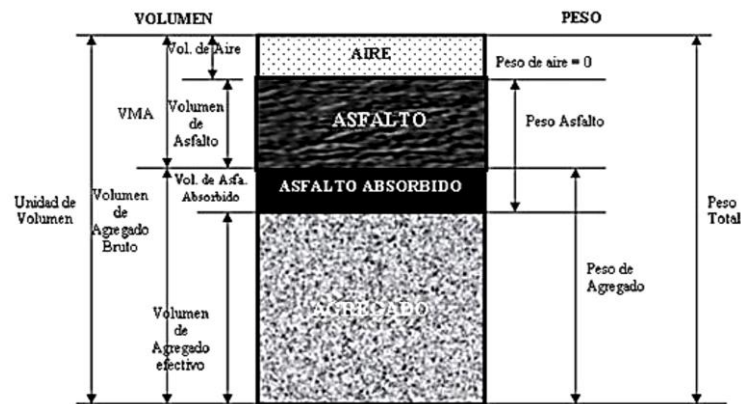
Nota: gravedades específicas, tomado de: (Delgado et al., 2006, p. 56)

2.2.8.3 Componentes de una mezcla asfáltica en caliente

Las propiedades volumétricas de una MAC compactada ofrecen señales sobre el rendimiento potencial de la mezcla. Estas propiedades, evaluadas en la fase de diseño, pueden incluirse en las especificaciones técnicas. Además, son empleadas en los métodos de diseño Marshall y Superpave. Estas propiedades volumétricas también pueden correlacionarse con las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico (Lavin, 2003, p. 136).

Figura 3

Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica compactada



Nota: diagrama de componentes. Fuente de: (Delgado et al., 2006, p. 57)

Gravedad específica neta (G_{mb}), esta prueba, realizada en la mezcla asfáltica compactada, busca estimar el nivel de compactación que la mezcla alcanzará. Es importante destacar que esta densificación representa una estimación del grado de compactación que la mezcla asfáltica logrará después de haber sido colocada en el pavimento por un período de tiempo. Esto debido a que el pavimento después de ser colocado, sigue sufriendo densificación, debido al paso de los vehículos (Acevedo, 2021, p. 28).

$$G_{mb} = \frac{W_a}{W_{SSS} - W_w} \quad (1)$$

Donde:

- G_{mb} = Gravedad específica de la briqueta.
- W_a = Masa de la briqueta en el aire.
- W_w = Masa de la briqueta en el agua.



- W_{sss} = Masa de la briqueta SSS.

Gravedad específica teórica máxima (Gmm), para un determinado contenido de asfalto se calcula dividiendo la masa total de los componentes (agregado y asfalto) por su volumen combinado, excluyendo los vacíos de aire. Esta medida resulta valiosa, ya que sirve como punto de referencia para calcular otras propiedades significativas, como el % Va. El ensayo para determinar la Gmm se realiza a la mezcla asfáltica en su estado más suelto (ASTM D 2041) (Delgado et al., 2006, p. 58).

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (2)$$

Donde:

- P_{mm} = Porcentaje del peso de la muestra a ensayar.
- P_s = Porcentaje del peso de los agregados de la briqueta.
- G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.
- P_b = % de la masa de asfalto de la mezcla asfáltica.

Contenido de asfalto (Pb), este hace referencia al contenido de asfalto presente en la mezcla. Una fracción del asfalto será absorbida por el agregado, mientras que la porción restante creará una capa que recubre las partículas. A los primeros se les denomina asfalto absorbido y al segundo asfalto efectivo (Minaya & Ordóñez, 2006, p. 168).

Contenido de vacíos (Va), la relación entre el volumen de los diminutos espacios de aire ubicados entre las partículas de agregado, los



cuales están recubiertos por asfalto en una mezcla asfáltica compactada, y el volumen total de la mezcla se conoce como contenido de vacíos de aire. Se expresa como porcentaje (Garnica et al., 2005, p. 21).

$$V_a = 100 * \frac{G_{mm} * G_{mb}}{G_{mm}} \quad (3)$$

Donde:

- G_{mm} = Grav. específica teórica máxima.
- G_{mb} = Grav. específica bulk de la briqueta.

Vacíos en el agregado mineral (VMA), se define como el espacio vacío existente entre las partículas de agregado en una mezcla asfáltica compactada, incluyendo tanto los espacios de aire como el contenido efectivo de asfalto. Este valor se expresa como un porcentaje del volumen aparente de la mezcla asfáltica compactada y se calcula en función de la gravedad específica aparente del agregado combinado (Lavin, 2003, p. 139).

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} * P_s}{G_{sb}} \quad (4)$$

Donde:

- G_{sb} = Grav. específica bulk de agregados.
- P_s = Contenido de agregado (%).
- G_{mb} = Grav. específica bulk de la briqueta.



Vacíos llenos con asfalto (VFA), se refiere al porcentaje de porosidad en la masa de agregado compactado que se llenan con asfalto, representando la relación entre el asfalto y los huecos. Esta propiedad no solo es crucial como indicador de durabilidad relativa, No solo debido a esto, sino también porque existe una relación sustancial entre el VFA y el porcentaje de densidad. Si el VFA es demasiado bajo, no hay suficiente asfalto para proporcionar durabilidad (Speight, 2016, p. 207).

$$VFA = 100 * \frac{(VMA - V_a)}{VMA} \quad (5)$$

2.2.9 Metodología Marshall

El método Marshall incluye la realización de tres tipos de pruebas destinadas a evaluar tanto las características volumétricas como las características mecánicas.

2.2.9.1 Gravedad específica

Se desarrolla cuando la muestra se enfría. Esta prueba se hace de acuerdo con la Norma ASTM D1188, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas utilizando parafina; o la ASTM D2726, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas mediante superficies saturadas de especímenes secos (Delgado et al., 2005, pp. 1–2).

2.2.9.2 Prueba de estabilidad y flujo

La estabilidad de una mezcla se ve influenciada por dos aspectos principales: la fricción y la cohesión interna. La fricción interna entre las partículas de agregado está relacionada con características particulares,



como la forma y la textura superficial del agregado, mientras que la cohesión surge de la capacidad del asfalto para unir las partículas. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico (Acevedo, 2021, p. 31).

Esta evaluación consiste en medir la el flujo de muestras cilíndricas de 4 pulgadas (102 mm) de mezcla asfáltica para pavimentación. La aplicación de carga se realiza en una dirección perpendicular al eje cilíndrico mediante el dispositivo Marshall. Este procedimiento de prueba es empleado “con mezclas asfálticas densamente graduadas que han sido elaboradas con cemento asfáltico (modificado y no modificado), asfalto reducido, alquitrán y alquitrán-caucho con un tamaño máximo de agregado de hasta 1 pulgada (25 mm) de tamaño (1 pulgada - 25 mm) tamiz” (American Society for Testing Materiasl, 2015, p. 1).

2.2.9.3 Análisis de densidad y vacíos

Utilizando la gravedad específica y efectiva total del agregado, así como el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas, la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos (V_a), porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA), y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) (Delgado et al., 2005, p. 2).

2.2.10 Control de calidad y parámetros de la metodología Marshall

2.2.10.1 Control de calidad del cemento asfáltico

Es conforme a la temperatura de la zona, la carta de viscosidad correspondiente del asfalto y de acuerdo con lo indicado en la tabla 2. Los estándares de calidad del asfalto son los que determinan las tablas 3 y 4 (MTC, 2013, p. 471).

Tabla 2

Selección del tipo de asfaltó

Temperatura media anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	menos de 5°C
40-50 ó 60-70 ó modificado	60-70	85-100 120-150	asfalto modificado

Nota: tomado de (MTC, 2013, p. 471)

Tabla 3

Especificaciones del cemento asfáltico por penetración

GRADO DE PENETRACIÓN												
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300		
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Pruebas sobre el material bituminoso												
Penetración a 25°C, 100g, 5s 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300	
Punto de inflamación °C.	MTC E 312	232		232		232		218		177		
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100		
Solubilidad en Tricloro- etileno, %	MTC E 302	99		99		99		99		99		
Índice de penetración (susceptibilidad térmica) (1)		-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	
Ensayo de la mancha (Oliensies) (2)												
Solvente nafta - estándar		negativo		negativo		negativo		negativo		negativo		



GRADO DE PENETRACIÓN											
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Solvente nafta - xileno, %xileno	AASHTO M 20	negativo		negativo		negativo		negativo		negativo	
Solvente heptano - xileno, %xileno		negativo		negativo		negativo		negativo		negativo	
Pruebas sobre la película delgada a 163°C, 3.2 mm, 5h											
Perdidas de masa, %	ASTM D 1754	0.8		0.8		1.0		1.3		1.5	
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm (3)	MTC E 306	50		75		100		100			

Nota: grado de penetración, fuente: (MTC, 2013, p. 472)

Tabla 4

Especificaciones del cemento asfáltico por viscosidad

	GRADO DE VISCOSIDAD				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	4000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa,	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la mancha (Oliensies) (1)					
Solvente nafta - Estándar	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo
Solvente nafta - Xileno, %xileno	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo



	GRADO DE VISCOSIDAD				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Solvente heptano - Xileno, % xileno	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo

Nota: grado de viscosidad, fuente de (MTC, 2013, p. 473)

2.2.10.2 Control de calidad del agregado

Los agregados pétreos empleados deberán ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, como se establecen en las tablas 5 y 6 (MTC, 2013, p. 559).

Tabla 5

Requerimientos para los agregados gruesos

ENSAYOS	NORMAS INTERNACIONALES	NORMAS NACIONALES	REQUERIMIENTO	
			ALTITUD (m.s.n.m.)	
			<3000	>3000
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	ASTM C 88 - AASHTO T 104	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión los Ángeles	ASTM C 131 - AASHTO T 96	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Índice de durabilidad	AASHTO T-182	MTC E 214	35% min.	35% min.
Partículas chatas y alargadas	AASHTO T-210	MTC E 221	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	ASTM 4791	MTC E 210	85/50	90/70
Sales solubles totales	ASTM D 5821 - AASHTO TP 61	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción *	AASHTO T290 - AASHTO 291	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.
Adherencia	ASTM C 127 - AASHTO T 85	MTC E 517	+95	

Nota: requerimientos de calidad, fuente: (MTC, 2013, p. 560)

Tabla 6

Requerimientos para los agregados finos

ENSAYOS	NORMAS INTERNACIONALES	NORMAS NACIONALES	REQUERIMIENTO	
			ALTITUD (m.s.n.m.)	
			<3000	>3000
Equivalente de arena	ASTM D 2419 - AASHTO T 176	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino		MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57		8 Max	8 Max
Índice de plasticidad (pasante la malla N° 40)	ASTM D 4318 - AASHTO T89	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	ASTM C 88 - AASHTO T 104	MTC E 209	-	18% Max
Índice de durabilidad	AASHTO T 210	MTC E 214	35 min	35 min
Índice de plasticidad (malla N° 200)	ASTM D 4318 - AASHTO T89	MTC E 111	Max 4	NP
Sales solubles totales	AASHTO T290 - AASHTOT291	MTC E 219	0.5% Max	0.5% Max
Absorción **	ASTM C 128 - AASHTO T 84	MTC E 205	0.5 Max	0.5% Max

Nota: requerimientos de calidad, fuente: (MTC, 2013, p. 560)

2.2.10.3 Gradación para mezclas asfálticas en caliente

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los usos granulométricos, especificados en la tabla 7 (MTC, 2013, p. 561).

Tabla 7*Gradación convencional (Marshall)*

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA		
	MAC-01	MAC-2	MAC-3
25.00 mm (1")	100	-	-
19.00 mm (3/4")	80-100	100	-
12.50 mm (1/2")	67-85	80-100	-
9.50 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4.75 mm (N° 4)	43-54	51-68	65-87
2.00 mm (N° 10)	29-45	38-52	43-61
425 um (N° 40)	14-25	17-28	16-29
180 um (N° 80)	8-17	8-17	9-19
75 um (N° 200)	4-8	4-8	5-10

Nota: tipos de granulometrías, fuente: (MTC, 2013, p. 561)

2.2.10.4 Mezcla Asfáltica

Las propiedades de calidad de la mezcla asfáltica deben cumplir con los requisitos establecidos para las mezclas de concreto asfáltico que se especifican en las tablas 8 y 9 (MTC, 2013, pp. 569–570).

Tabla 8*Requisitos para mezcla de concreto bituminoso*

PARÁMETRO DE DISEÑO	CLASE DE MEZCLA		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado.	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo).	8.15 kN	5.44 kN	4.53 kN
3. Flujo 0.01" (0.25 mm).	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5

Nota: donde A, B y C corresponden al tipo de tránsito (tránsito pesado $10^6 < ESAL$, medio $10^4 < ESAL < 10^6$ y liviano $10^4 > ESAL$). Fuente de (MTC, 2013, p. 570)

Tabla 9*Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)*

TAMIZ	VACÍOS MÍNIMOS EN AGREGADO MINERAL %	
	MARSHALL	SUPERPAVE
2.36 mm (N° 8)	21	-
4.75 mm (N° 4)	18	-
9.50 mm (3/8")	16	15
12.50 mm (1/2")	15	14
19.00 mm (3/4")	14	13
25.00 mm (1")	13	12
7.50 mm (1 1/2")	12	11
50.00 mm (2")	11.5	10.5

Nota: valores de VMA. Fuente de (MTC, 2013, p. 571)

2.2.11 Granulometría Superpave

La aparición de nuevos criterios para la evaluación de la graduación de agregados es debido al surgimiento de la metodología de diseño Superpave, la cual forma parte del programa estratégico de investigación en carreteras (SRHP), el cual está dirigido a mejorar el desempeño y vida útil de las carreteras (Delgado et al., 2006, p. 14).

Un aspecto crucial de esta curva es la línea de máxima densidad, “que refleja la distribución de tamaño de partícula donde las partículas de agregado se colocan de manera óptima”, logrando la disposición volumétrica más compacta. La línea de máxima densidad se determina graficando una línea que une el origen con el punto donde el tamaño máximo de la malla interseca la línea que corresponde al porcentaje que pasa el 100% (Garnica et al., 2005, p. 42).

Tabla 10

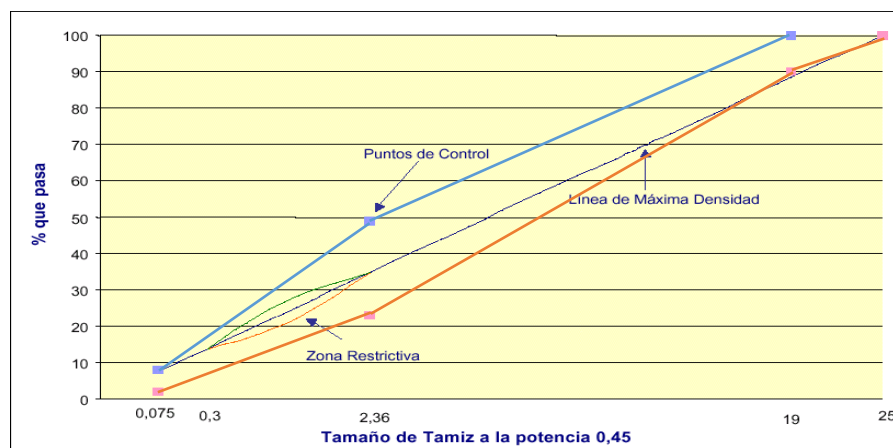
Gradación Superpave para TM de 19 mm

TAMAÑO DEL TAMIZ MM	PUNTOS DE CONTROL		LÍNEA DE MÁXIMA DENSIDAD	ZONA DE RESTRICCIÓN		FORMULA DE MEZCLA	TOLER.
				Mínimo	Máximo		
25		100,0	100,0				
19,00	100,0	90,0	88,4				
12,50			73,2				
9,50			59,6				
4,75			49,5			*	(6)
2,36	49,0	23,0	34,6	34,6	34,6	*	(6)
1,18			25,3	22,3	28,3		
0,60			18,7	16,7	20,7	*	(4)
0,30			13,7	13,7	13,7	*	(3)
0,15			10,0				
0,075	8,0	2,0	7,3			*	(2)

Nota: gradación para TM 19mm. Fuente de (MTC, 2013, p. 562)

Figura 4

Gradación Superpave EG-2013 (Puntos de control, Zona restrictiva)



Nota: gradación Superpave. Fuente (MTC, 2013, p. 562)

2.2.11.1 Gráfica elevada al exponente 0,45

Utiliza el exponente 0.45 en la carta granulométrica para establecer el rango de distribución granulométrica permitido (gráfica de Fuller). Esta técnica gráfica proporciona una única manera de evaluar la distribución



acumulada de tamaños de partículas en una mezcla de agregados. Las ordenadas de la carta son los porcentajes que pasan, en escala aritmética, las abscisas representan las aberturas de los tamices en mm, elevadas a la potencia 0.45 (Delgado et al., 2006, p. 15).

El contenido de vacíos en el agregado mineral fluctúa según la distribución de tamaños de partículas en la curva granulométrica. Para una curva más cercana a la línea de potencia 0,45 (curva de máxima densidad, llamada de Fuller), el porcentaje de vacíos es más bajo y la compacidad más fuerte (Garnica et al., 2005, p. 13).

2.2.11.2 Gráfica de Fuller

La gráfica de Fuller, que representa la distribución granulométrica de un material grueso y no uniforme, se deriva de la ecuación de Fuller. Esta ecuación refleja condiciones de máxima densidad y mínimos vacíos en el agregado mineral (Delgado et al., 2006, p. 15).

$$p_i = \left(\frac{D_i}{D_{max}} \right)^n \quad (6)$$

Donde:

- p_i = acumulado que pasa.
- D_i = diámetro del agregado.
- $D_{máx}$ = TM del material.
- n = forma de la curva.

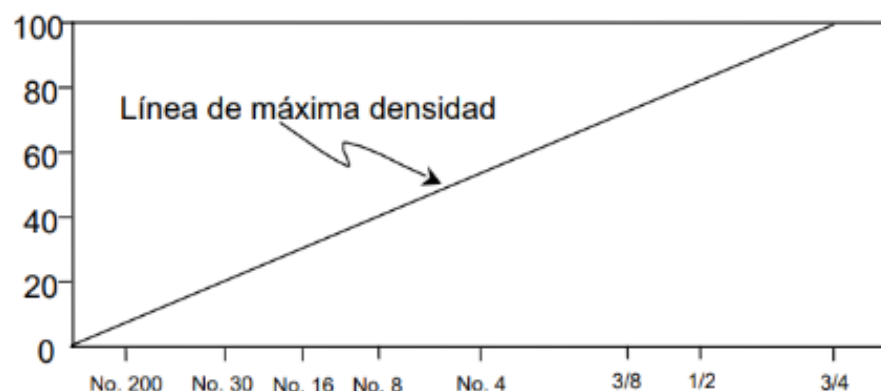
2.2.11.3 Trazado de gradaciones

A principios de la década de 1960, la Oficina de Caminos Públicos (hoy FHWA) introdujo un gráfico de gradación, que es una herramienta especialmente útil para evaluar las gradaciones agregadas. El gráfico utiliza una escala horizontal, que representa las aberturas del tamiz en pulgadas (milímetros) elevadas a la potencia 0,45, y una escala vertical que representa el porcentaje de paso (Hadi, 2015, p. 21).

La gradación real del agregado o de la combinación de agregados se grafica con la línea de densidad máxima. La gradación se puede comparar fácilmente con cuál sería el empaquetamiento o densidad máximos del tamaño del agregado en particular. Cuanto más lejos esté la curva granulométrica de la línea de densidad máxima, más espacio tendrá esa clasificación en particular para el ligante asfáltico y los huecos de aire (Lavin, 2003, p. 123)

Figura 5

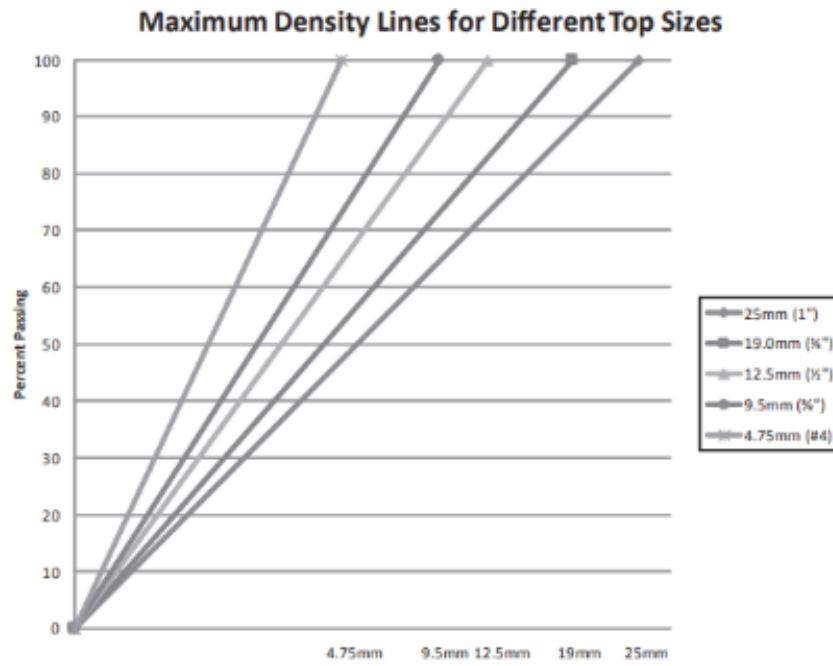
Gradación de máxima densidad para TM de 19mm



Nota: tomado de (Delgado et al., 2006, p. 18)

Figura 6

Gradaciones de máxima densidad



Nota: tomado de (Hadi, 2015, p. 21)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en la provincia de Puno, específicamente en el centro poblado de Alto Puno, ubicado a una altitud de 4000 m.s.n.m. Las temperaturas en la zona varían entre $-1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ como mínimo y $16.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ como máximo, según los registros meteorológicos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). El centro poblado de Alto Puno experimenta un tráfico vehicular pesado con un equivalente de ejes (ESAL) superior a 10^6 millones, por lo que se estableció un número de golpes de compactación de 75, de acuerdo con las directrices de la tabla 8 (EG – 2013).

La investigación se llevó a cabo en el periodo comprendido entre diciembre de 2022 y abril de 2023. Los análisis se realizaron en los laboratorios de suelos y pavimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, ubicados en la Av. Floral 1153 en la ciudad de Puno.

La investigación presenta los ensayos realizados en laboratorio, incluyendo el seguimiento, la cuantificación de mezclas (convencionales tipo MAC-01 y modificadas con granulometría Superpave), y la obtención de resultados, los cuales son:

- Contenido de humedad (ASTM D 2216).
- Granulometría por tamizado de los agregados para la metodología Marshall (ASTM D 6913).
- Densidad relativa y absorción de agregado grueso (ASTM C 127).
- Gravedad específica y absorción de agregado fino (ASTM C128).



- Desgaste por abrasión e impacto (Abrasión los ángeles ASTM C 131).
- Equivalente de arena (ASTM D 2419).
- Partículas chatas y alargadas (ASTM D 4791).
- Índice de plasticidad del material que pasa el tamiz No 200 y No 40 (ASTM D 4318).
- Partículas con caras fracturadas (ASTM D 5821).
- Revestimientos y desprendimiento de mezclas agregado – bitumen (AASHTO T-182).
- Valor Azul de Metileno (AASHTO T-330).
- Densidad y gravedad específica de mezclas bituminosas compactadas (ASTM D2726).
- Densidad y gravedad específica máxima teórica de mezclas bituminosa RICE (ASTM D2041).
- Mezcla asfáltica en Caliente por el método Marshall (ASTM D 6926).
- Prueba estándar para la estabilidad y el flujo de Marshall (ASTM D6927).

3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

a. Enfoque de investigación

Según Pimienta & Hoz (2012), la presente investigación es de enfoque cuantitativo, puesto que “se centra en el contraste de hipótesis y teorías; en el uso de la medida como fórmula de recolección de datos, la estadística como método de análisis e interpretación, la expresión matemática para formalizar el conocimiento; y, por supuesto, la experiencia regulada como fuente de conocimiento, evidencia y criterio de verificación.”



b. Tipo de investigación

Según Arias (2012), la naturaleza de la investigación es de tipo aplicada, ya que “tiene el potencial de ser directamente utilizada para abordar problemas prácticos de manera inmediata.”

c. Nivel de investigación

Según Hernández et al (2014), el presente estudio se clasifica como de nivel explicativo, ya que busca “comprender las razones detrás de un fenómeno y las condiciones en las que se manifiesta, así como la relación entre dos o más variables”.

d. Diseño de investigación

Según Bernal (2010), la investigación es de diseño cuasiexperimental, por razones de que “el investigador ejerce poco control sobre las variables extrañas, los sujetos participantes de la investigación se pueden asignar aleatoriamente a los grupos y algunas veces se tiene grupo de control”.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Según Hernández et al (2014), la técnica de muestreo empleada es no probabilístico de tipo intencional, debido a que “las pruebas estadísticas tienen un valor limitado a la muestra en sí, mas no a la población”. La investigación considero como muestra las 57 briquetas elaboradas de mezclas asfálticas en caliente. Conforme a la norma ASTM D 6927 (2015), la muestra examinada consistió en briquetas cilíndricas de mezcla asfáltica convencional tipo MAC-01 y modificada con granulometría Superpave. Los detalles sobre esta muestra se encuentran reflejados en las tablas 11, 12 y 13.

Tabla 11

Briquetas con granulometría Marshall tipo MAC-01

BRIQUETAS TIPO MAC-01 (ASTM D 6927)	
TIPO DE MATERIAL	CANTIDAD
Mezcla asfáltica con 4.0% de asfalto (M-4%)	3
Mezcla asfáltica con 4.5% de asfalto (M-4.5%)	3
Mezcla asfáltica con 5.0% de asfalto (M-5%)	3
Mezcla asfáltica con 5.5% de asfalto (M-5.5%)	3
Mezcla asfáltica con 6.0% de asfalto (M-6%)	3
Mezcla asfáltica con 6.5% de asfalto (M-6.5%)	3
Mezcla asfáltica con 7.0% de asfalto (M-7%)	3
TOTAL	21

Nota: especímenes elaborados con el diseño tradicional (metodología Marshall)

Tabla 12

Briquetas con granulometría Superpave, por encima de la restricción

BRIQUETAS TIPO SA (ASTM D 6927)	
TIPO DE MATERIAL	CANTIDAD
Mezcla asfáltica con 4.0% de asfalto (SA-4.0%)	3
Mezcla asfáltica con 4.5% de asfalto (SA-4.5%)	3
Mezcla asfáltica con 5.0% de asfalto (SA-5.0%)	3
Mezcla asfáltica con 5.5% de asfalto (SA-5.5%)	3
Mezcla asfáltica con 6.0% de asfalto (SA-6.0%)	3
Mezcla asfáltica con 6.5% de asfalto (SA-6.5%)	3
TOTAL	18

Nota: especímenes elaborados con la granulometría de la metodología Superpave con el diseño tradicional (metodología Marshall)

Tabla 13

Briquetas con granulometría Superpave, por debajo de la restricción

BRIQUETAS TIPO SB (ASTM D 6927)	
TIPO DE MATERIAL	CANTIDAD
Mezcla asfáltica con 4.0% de asfalto (SB-4.0%)	3
Mezcla asfáltica con 4.5% de asfalto (SB-4.5%)	3

BRIQUETAS TIPO SB (ASTM D 6927)

TIPO DE MATERIAL	CANTIDAD
Mezcla asfáltica con 5.0% de asfalto (SB-5.0%)	3
Mezcla asfáltica con 5.5% de asfalto (SB-5.5%)	3
Mezcla asfáltica con 6.0% de asfalto (SB-6.0%)	3
Mezcla asfáltica con 6.5% de asfalto (SB-6.5%)	3
TOTAL	18

Nota: especímenes elaborados con la granulometría de la metodología Superpave con el diseño tradicional (metodología Marshall)

3.4 DISEÑO ESTADÍSTICO

Según Rodríguez (2007), el diseño estadístico se realizó con el T de student, debido a que este “estadístico es útil cuando por consideraciones practicas no se puede tomar una muestra aleatoria grande y se desconoce la varianza poblacional”.

3.4.1 Prueba de hipótesis

Dado que el número de muestras es inferior a 30, se utilizó la distribución T de Student, por lo cual se plantea una hipótesis nula y alternativa, con un nivel de significancia (α). El cálculo se realizó empleando las siguientes ecuaciones:

- Varianza (S)

$$S^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (7)$$

- Varianza común (Sc)

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{(n_1 + n_2) - 2} \quad (8)$$

- Estadística de prueba (T)

$$T = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}} \quad (9)$$

Donde:

\bar{x}_1 y \bar{x}_2 = media de las muestras.

- Cálculo de grados de libertad (gl)

$$gl = (n_1 + n_2) - 2 \quad (10)$$

Donde:

n_1 y n_2 = el tamaño de los grupos.

- Decisión

Se empleó una prueba de contraste bilateral de dos colas, donde se considera que la igualdad de medias en un contraste es análoga a la situación en la cual la diferencia entre las medias es nula.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 (\mu_1 - \mu_2 = 0) \quad (11)$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 (\mu_1 - \mu_2 \neq 0) \quad (12)$$

Donde:

H_0 y H_1 = hipótesis nula y alternativa.

3.5 PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

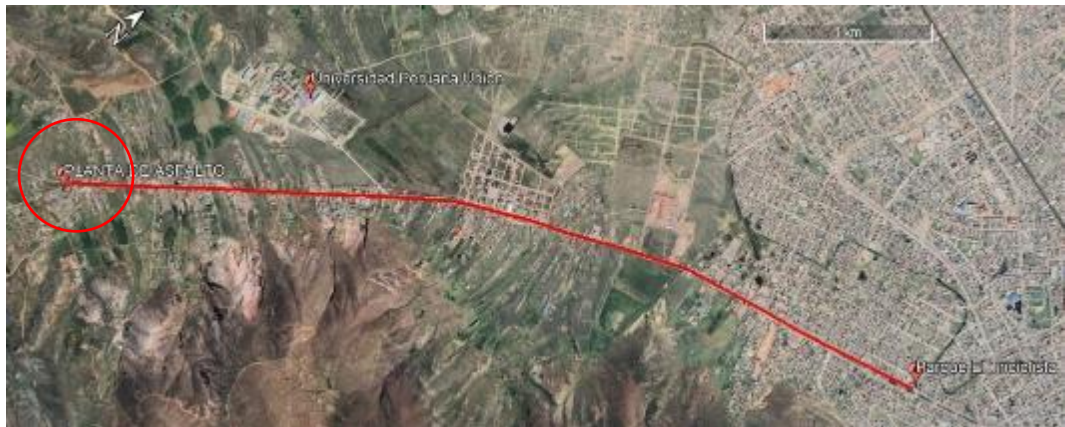
3.5.1 Materiales empleados

a. Agregados

La piedra chancada y arena zarandeada para la granulometría tipo MAC-01 y Superpave, proceden “de la planta de asfalto municipal ubicada en la ciudad de Juliaca”, ubicada en las coordenadas 373128 E, 8286026 N.

Figura 7

Ubicación de planta de asfalto municipal de la ciudad de Juliaca



Nota: tomado de Google Earth Pro

b. Asfalto PEN 120-150

El asfalto se obtuvo mediante donación, “de la planta de asfalto de la ciudad de Juliaca”.

El asfalto se empleó según las características climáticas de la provincia de Puno (9.1C°), y las especificaciones del asfalto, tal como lo indica la tabla 14 y el anexo 1, respectivamente.

Tabla 14

Selección de asfalto

TEMPERATURA MEDIA ANUAL			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	menos de 5°C
40-50 ó 60-70 ó modificado	60-70	85-100 120-150	asfalto modificado

Nota: la temperatura de la región. Fuente de (MTC, 2013, p. 471)

c. Filler

El filler utilizado fue el silico, de la marca CARPETEK – ROCATECH, el cual fue adquirido en la planta de asfalto municipal de Juliaca.

Figura 8

Filler silico, CARPETEK – ROCATECH



Nota: elaboración propia

3.5.2 Procedimiento experimental - caracterización

Los ensayos tuvieron como propósito “determinar los parámetros específicos de cada prueba y verificar si estaban dentro de los límites establecidos por el MTC y la ASTM”. Estos ensayos permitieron confirmar las ventajas proporcionadas por las mezclas asfálticas modificadas con la granulometría Superpave.

a. *Ensayo de contenido de humedad (ASTM D 2216)*

Una muestra de ensayo se seca en un horno a una temperatura de 110° - 65°C. “La pérdida de masa debido al secado se considera agua”. El contenido de humedad se calcula utilizando la masa de agua y la muestra seca (ASTM, 1998, p. 2).

Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Guantes para manejo de envases calientes.
- Envases para muestras.

Para el cálculo, se utilizó la siguiente formula:

$$W\% = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100 \quad (13)$$

Figura 9

Ensayo de contenido de humedad para materiales pétreos



Nota: elaboración propia

Cálculos

Los contenidos de humedad se muestran en las tablas 15, 16 y 17.

Tabla 15*Contenido de humedad de la piedra chancada*

DESCRIPCIÓN	T-01	T-02
Peso de la tara (gr)	1012.00	992.00
Peso de la tara (gr) + muestra humedad (gr)	4856.00	4922.00
Peso de la tara (gr) + muestra seca (gr)	4855.00	4920.00
Peso del agua contenida (gr)	1.00	2.00
Peso de la muestra seca (gr)	3844.00	3930.00
Contenido de humedad (%)	0.03%	0.05%
Contenido de humedad promedio (%)	0.04%	

Nota: elaboración propia

Tabla 16*Contenido de humedad de la piedra chancada fina*

DESCRIPCIÓN	T-03	T-04
Peso de la tara (gr)	452.15	470.02
Peso de la tara (gr) + muestra humedad (gr)	987.00	1003.00
Peso de la tara (gr) + muestra seca (gr)	987.00	1002.00
Peso del agua contenida (gr)	0.00	1.00
Peso de la muestra seca (gr)	534.85	532.98
Contenido de humedad (%)	0.00%	0.19%
Contenido de humedad promedio (%)	0.09%	

Nota: elaboración propia

Tabla 17*Contenido de humedad de la arena zarandeada*

DESCRIPCIÓN	T-05	T-06
Peso de la tara (gr)	395.25	432.85
Peso de la tara (gr) + muestra humedad (gr)	899.00	895.00
Peso de la tara (gr) + muestra seca (gr)	899.00	895.00
Peso del agua contenida (gr)	0.00	0.00
Peso de la muestra seca (gr)	503.75	462.15
Contenido de humedad (%)	0.00%	0.00%
Contenido de humedad promedio (%)	0.00%	



b. Ensayo de granulometría por tamizado de los agregados para la metodología Marshall (ASTM D 6913)

Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Envases para muestras.
- Set de tamices convencionales para la clasificación de agregados gruesos que incluye tamices de tamaños: (2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", N°4 y base). Asimismo, para los agregados finos se emplean tamices de tamaños: (N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 80, N° 100, N° 200 y base).

Procedimiento

- Para el agregado grueso, se secó en la estufa hasta que alcanzó una masa constante.
- Secada la muestra se estableció el tamaño máximo nominal, en este caso fue el tamiz ¾" (19 mm).
- Para el TMN, el tamaño de muestra establecido en la normativa es de 5kg.
- Se armó el juego de tamices y se vertió el material sobre él, se vibró por aproximadamente diez minutos, observando en todo momento, de que no hubiera muestra excesiva en los tamices.
- Se registró el peso retenido en cada tamiz una vez finalizado el proceso.
- Este proceso se realizó para los agregados gruesos y agregados finos.

Figura 10

Ensayo de granulometría para granulometría Marshall



Nota: elaboración propia

Cálculos

Se determinó un TMN de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) para las granulometrías. Se realizó el ensayo con un peso inicial de 4.00 kg para la piedra chancada, 1.50 kg para la piedra chancada fina y 1.50 kg para la arena zarandeada; los porcentajes retenidos en los tamices, se detallan en el anexo 4; las curvas granulométricas se representan en las figuras 11, 12 y 13.

Figura 11

Granulometría de la piedra chancada

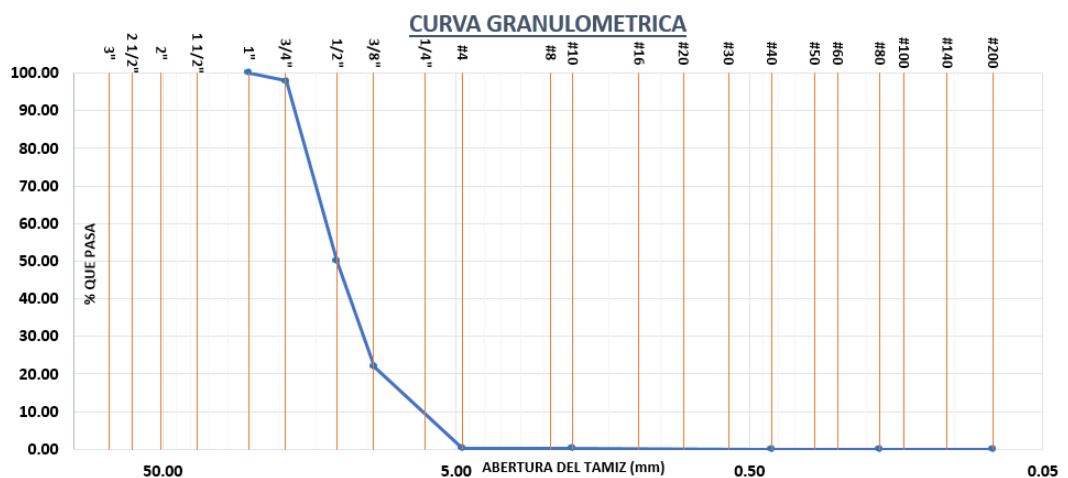


Figura 14

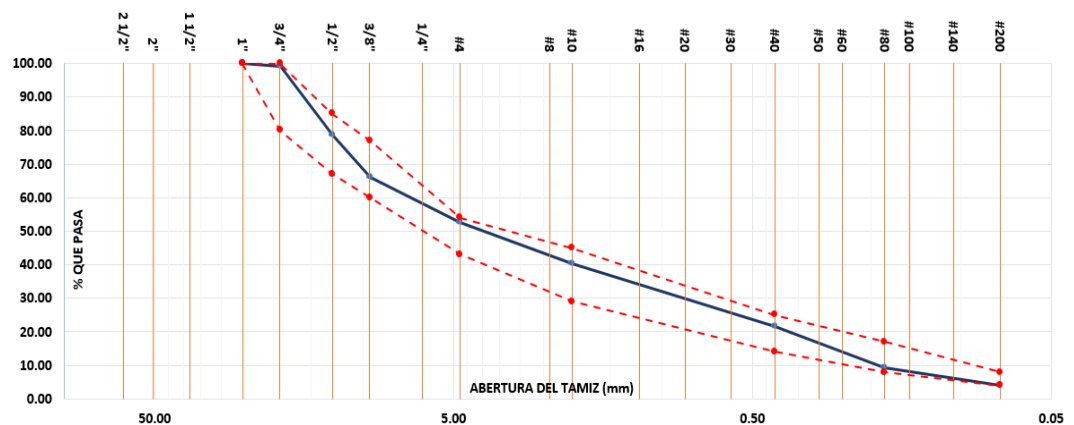
Combinación de piedra chancada, arena chancada y arena zarandeada



Nota: elaboración propia

Figura 15

Curva granulométrica tipo MAC-01



Nota: elaboración propia

d. Agrupamiento de agregados para granulometría Superpave

Actualmente, en la región de Puno no se cuenta con plantas procesadoras de agregados pétreos que cumplan con la franja granulométrica del método Superpave, por lo cual se procedió a realizar un tamizado de piedra chancada y arena zarandeada como lo establece la tabla 10 de la EG-2013.



Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Envases para muestras.
- Set de tamices convencionales para la clasificación de agregados gruesos que incluye tamices de tamaños: (2", 1 ½", 1", 3/4", ½", 3/8", N°4 y base). Asimismo, para los agregados finos se emplean tamices de tamaños: (N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 80, N° 100, N° 200 y base).

Procedimiento

- Se secó la piedra chancada y arena zarandeada en la estufa hasta alcanzar una masa constante.
- Se procedió a obtener muestras mediante tamizado con los siguientes tamices para los agregados gruesos (piedra chancada): (2", 1 ½", 1", 3/4", ½", 3/8", N°4, y base), para los agregados finos: (los números 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100 y 200, y la base).
- Se separó las muestras por tamices para de esa manera tener un control de la cantidad de muestra necesaria por cada tamiz.
- Se acumuló la cantidad necesaria de material para realizar los ensayos de laboratorio correspondientes.

Figura 16

Agrupamiento de agregados para granulometría Superpave



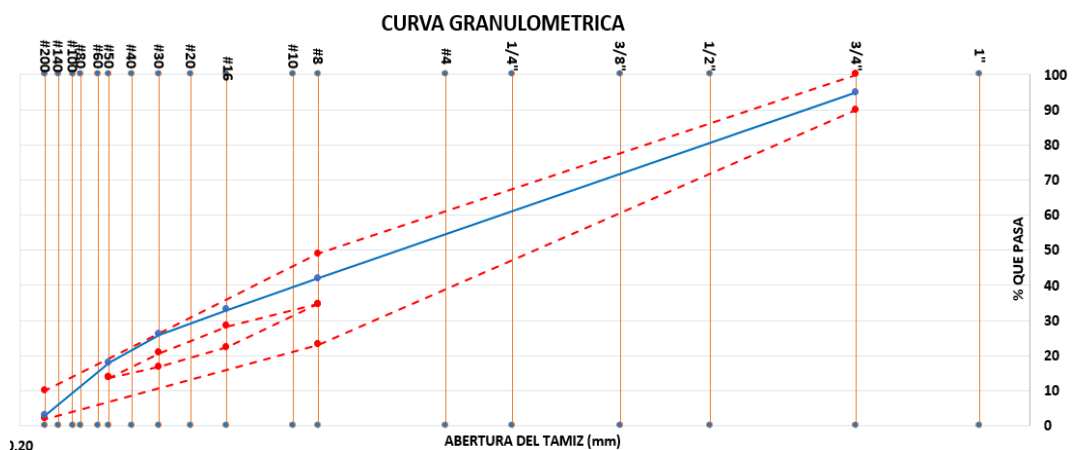
Nota: elaboración propia

Cálculos

Se obtuvo una combinación de agregado fino y grueso, con un TMN de 19 mm ($3/4''$). Se determinaron dos granulometrías por encima y por debajo de la restricción, como se especifica en el anexo 4; de la misma forma se representan en las figuras 17 y 18.

Figura 17

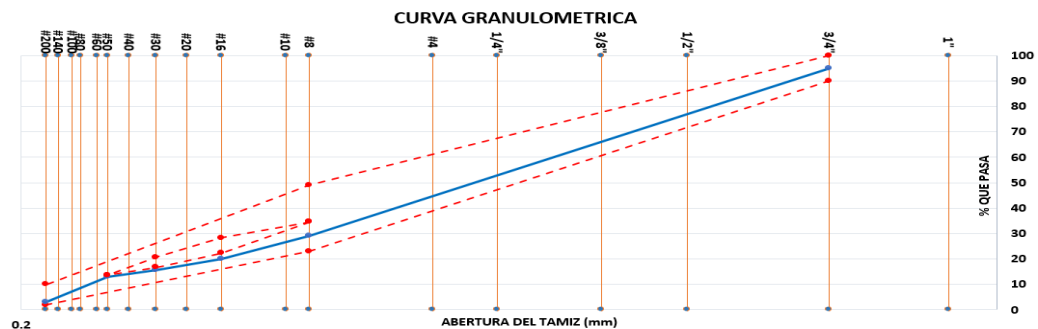
Curva de la granulometría Superpave tipo SA



Nota: elaboración propia

Figura 18

Curva de la granulometría Superpave tipo SB



Nota: elaboración propia

e. *Ensayo de desgaste por abrasión los ángeles (ASTM C 131)*

Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Envases para muestras.
- Set de tamices convencionales para la clasificación de agregados gruesos que incluye tamices de tamaños: (2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", N°4 y N°8).
- Máquina los ángeles.
- Esferas de carga según norma.

Procedimiento

- Se generó una muestra conforme al TMN. Se examinó la porción que pasa a través del tamiz de 1" y queda retenida en el tamiz N° 4. El procedimiento establece que para cada material que pasa y cada material retenido, se debe obtener una cantidad igual que suma 5000 ± 10 g. Sin embargo, en la muestra no se detectó material retenido en el tamiz de 1". Por lo tanto, la muestra se dividió en partes iguales para los tamices restantes (1666.6 g).



Cálculos

En la tabla 18 se detallan los cálculos con un desgaste por abrasión de 18.94 %, lo cual se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma (abrasión los Ángeles 35.00 % máximo).

Tabla 18

Ensayo de desgaste por abrasión e impacto, los Ángeles

Resistencia a la degradación ASTM C131 Muestra:	Ag. grueso	
	Agregado grueso	
Resultados	REPLICA #1	REPLICA #2
Masa de la carga abrasiva [gr]	5019.00	5019.00
(C) Masa inicial de la muestra [gr]	5007.00	5004.00
(Y) Masa final de la muestra [gr]	4053.00	4062.00
Desgaste de los Ángeles [%]	19.05	18.82
Desgaste de Los Ángeles promedio [%]	18.94	

Nota: Elaboración propia

f. *Ensayo de equivalente de arena (ASTM D 2419)*

Equipo

- Solución madre o stock (para preparar la solución madre o stock, se disolvieron 454 g de cloruro de calcio en 1.89 litros (1/2 galón) de agua destilada. Posteriormente, se adicionaron 2050 g de glicerina y 47 g de formaldehído, asegurándose de mezclar completamente. Finalmente, la solución se diluyó con agua destilada hasta alcanzar un volumen total de 3.78 litros).
- Cilindro graduado transparente con tapón de hule, un tubo irrigador, un pisón lastrado y un sifón.
- Tamiz N° 04.



- Medidor metálico cilíndrico.
- Contenedor de solución de 1 gln.
- Cronómetro.
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.

Procedimiento

- Se recogieron 1.500 gramos de material fino, se colocaron en una bandeja y se pasaron por el tamiz n.º 4. El cilindro de plástico se colocó sobre una superficie nivelada y estable.
- La solución estuvo contenida en el interior del conjunto funcional de sifón de botella.
- Se suministró la solución a la probeta cilíndrica de plástico hasta un volumen específico, y el procedimiento de sifonado se llevó a cabo forzando el aire a través del orificio abierto en el tapón de la botella.
- Se tomó nota del peso de la muestra y el medidor de estaño.
- Consecutivamente, se añadió la muestra al cilindro de plástico utilizando un embudo y se liberaron las burbujas de aire golpeando el fondo.
- Se dejó reposar durante diez minutos sin tocar.
- Transcurrido este tiempo, se efectuaron noventa ciclos de agitación manual, de unos treinta segundos de duración cada uno, a una distancia de veintitrés centímetros (un ciclo representa un movimiento completo de vaivén).
- Después se retiró el tapón de goma, se introdujo el tubo de enjuague y las paredes del cilindro se enjuagaron de arriba abajo hasta que no quedaran restos de la muestra en las paredes.

- Se colocó el tubo de enjuague en la muestra, asegurándose de llegar hasta el fondo del cilindro para evitar que el material fino quedara suspendido sobre las partículas gruesas.
- Tras colocar el tapón de goma en la parte superior del cilindro y dejarlo reposar durante veinticinco minutos, se verificó si el material fino seguía suspendido.
- Se midió la altura del material fino, debido a que se observó que se suspendió en la parte superior.
- Se introdujo el pie pesado hasta tocar la muestra. Luego, se midió la altura del pie pesado (ubicado a 10 cm de la base del pie pesado).

Figura 20

Ensayo de equivalente de arena, para agregado fino



Nota: elaboración propia

Cálculos

Se obtuvo que la muestra ensayada corresponde a un 86% de arena y el resto a materiales finos, lo cual se detalla en la tabla 19.

Tabla 19*Equivalente de arena realizado al agregado fino*

ASTM D 2419	Identificación de la muestra:	Agregado fino	
	Temperatura del agua:	23°	
Resultados	Agregado fino		
		Replica #1	Replica #2
1er ciclo de reposo	Hora inicial (hh:mm)	11:20	11:35
	Hora final (hh:mm)	11:31	11:46
2do ciclo de reposo	Hora inicial (hh:mm)	11:50	12:00
	Hora final (hh:mm)	12:12	12:20
Lectura	(A) Arcilla [pulg]	3.85	4.1
	(B) Arena [pulg]	3.3	3.5
(SE) Equivalente de arena [%]		85.71	85.37
(SE) Equivalente de arena promedio [%]		86	

Nota: elaboración propia

g. *Ensayo de partículas chatas y alargadas (ASTM D 4791)***Equipo**

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Envases para muestras.
- Dispositivo proporcional calibrador.

Procedimiento

- La muestra de ensayo fue adquirida siguiendo las indicaciones de la práctica estándar. Para las características del agregado ensayado la masa fue de 5kg.
- Se secó la muestra en la estufa.
- Se registró la masa de la muestra.

- Se tamizó el material por los tamices: 1 1 /2", 1", 3 /4", 1 /2" y 3 /8", utilizando únicamente el material retenido en el tamiz de No. 4.
- Se registró la masa retenida en cada tamiz.
- Se calculó el porcentaje retenido parcial de cada fracción. Si el porcentaje retenido parcial de alguna fracción es menor al 10%, ésta se puede descartar para ser ensayada.
- Se redujo cada fracción a una décima de la muestra original o hasta obtener 100 partículas aproximadamente para cada fracción.
- Se registró la nueva masa a ensayar de cada fracción.
- Se identificó las dimensiones de cada partícula como largo, ancho y espesor. Colocando el largo de la partícula en la abertura más grande del dispositivo calibrador y ajustando el calibrador a dicha abertura.
- La partícula se consideró plana y alargada si el espesor pasó completamente a través de la abertura más pequeña del calibrador.
- Se separó las partículas por fracción en dos grupos: planas y alargadas; o, ni planas ni alargadas.
- Después de que las partículas fueron clasificadas.

Figura 21

Ensayo de partículas chatas y alargadas realizado al agregado grueso



Nota: elaboración propia



Cálculos

El ensayo desemboco en que el porcentaje de partículas chatas y alargadas fue del 4,00 %, lo cual está dentro de los parámetros del ensayo que requieren un máximo del 10,0 %. Los datos y cálculos se detallan en la tabla 20.

Tabla 20

Ensayo de partículas chatas y alargadas

Partículas planas y alargadas ASTM D4791	Muestra:	Agregado grueso			
		Replica # 01			
Resultados					
(A) masa inicial de la muestra [gr]		5000.00			
Tamices		3/4"	1/2"	3/8"	N° 4
(B) masa total de cada fracción [gr]		258.73	2168.38	1269.80	1250.98
(C) retenido parcial [%]		5.17%	43.37%	25.40%	25.02%
(D) masa de cada fracción [gr]/ con reducción		1381.45	527.28		
Masas individuales [gr]	(E) planas y alargadas	29.73	34.73		
	(F) ni planas, ni alargadas	1351.73	492.55		
Planas y alargadas por tamiz [%]	(G) = (E/D)*100	2.15	6.59		
	(H)= G*C/100	0.93	1.67		
Sumatoria de retenido parcial (total C) [%]		68.76			
Sumatoria de planas y alargadas (total H) [%]		2.61			
Partículas planas y alargadas [%] (H/C * 100)		3.79			
Partículas planas y alargadas redondeadas [%]		4			

Nota: elaboración propia

h. Ensayo de Índice de plasticidad del material que pasa el tamiz No 200 y No 40 (ASTM D 4318)

Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Envases para muestras.



- Tamiz estandarizado para agregado fino N° 40 y 200.
- Cuchara de Casagrande.
- Vidrio de platino liso.
- Espátula y otros varios.

Procedimiento

- La muestra fue cribada a través del tamiz N° 200.
 - Se incorporó agua a la muestra obtenida, revolviendo y dejando reposar por 12 horas, para que se sature completamente.
 - Se utilizó una espátula para colocar una porción de muestra saturada en la cuchara de Casagrande, extenderla y presionar a una profundidad de aproximadamente 10 mm. Luego, se utilizó un ranurador con borde biselado para hacer una ranura en la superficie.
 - El mango de la cuchara de Casagrande se movió a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que las paredes inferiores de la ranura se tocaron a lo largo de aproximadamente 13 mm.
 - La muestra utilizada para el límite de plástico fue la misma que se usó para el límite líquido.
 - Se hizo bastones delgados sobre la superficie del vidrio, con la mano, hasta obtener bastones con un diámetro aproximado de 3.2mm.
 - Se registró la masa de los bastones y se secaron en la estufa hasta alcanzar una masa constante.
 - Cuando la masa fue constante, se dejó enfriando para luego anotar la masa.
- Con los datos obtenidos se realizó los cálculos pertinentes.

Figura 22

Ensayo de índice de plasticidad



Nota: elaboración propia

Cálculos

El material del agregado fino no exhibe límites plásticos, ya que la ranura se cierra en un máximo de 7 golpes. El límite líquido se determina como el 15.29 % del material que pasa a través del tamiz No. 40 y se retiene en el tamiz No. 200. Como resultado, No presenta (NP) índice plástico porque es un material de grava arenosa, como se detalla en la tabla 21.

Tabla 21

Índice de plasticidad pasante al tamiz N° 200 y N° 40

Límite líquido	Fecha: 31/01/23			
Pasante	N 40	N 40	N 200	N 200
N° tara	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (g)				
Tara + suelo seco (g)				
Agua (g)	No Presenta			
Peso del tarro (g)				
Peso del suelo seco (g)				
% de humedad (g)				
N° de golpes	4	3	7	7
Límite plástico				



Pasante	N 40	N 200
N° tara	5	6
Tara + suelo húmedo	34.09	42.04
Tara + suelo seco	33.07	40.09
Agua	1.02	1.95
Peso de la tara	26.40	29.00
Peso del suelo seco	6.67	11.09
% de humedad	15.29	17.58

Nota: elaboración propia

i. *Ensayo de partículas con caras fracturadas (ASTM D 5821)*

Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Envases para muestras.
- Tamices estandarizados para agregados 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N° 04.

Procedimiento

- Se obtuvo una muestra de 3 kg retenida en el tamiz N° 04 para un TMN de 3/4" (19 mm).
- La muestra se secó en la estufa hasta obtener una masa constante, se tomó nota el peso de la muestra.
- Se verificó las partículas para cumplir los lineamientos establecidos en la norma ASTM D 5821.
- Se dividió en dos categorías: una cara fracturada y dos caras fracturadas.
- Se tomó nota de las masas de las dos categorías.

Figura 23

Ensayo de partículas con caras fracturadas



Nota: elaboración propia

Cálculos

Se determinó que el 91.60 % del agregado grueso exhibe al menos una cara fracturada, mientras que el 84.37% muestra dos caras fracturadas, como se explica en la tabla 22.

Tabla 22

Partículas con caras fracturadas realizadas al agregado grueso

Partículas con caras fracturadas ASTM D 5821	Identificación de la muestra:	Agregad o grueso
	TMN:	¾"
Resultados		Replica # 01
(a) masa inicial de la muestra [gr]		3000.00
(f) masa de partículas con dos o más caras fracturadas [gr]:		2531.06
(u) masa de partículas con una cara fracturada [gr]:		2748.06
(n) masa de partículas sin caras fracturadas [gr]:		251.94
(p2) partículas con dos o más caras fracturadas [%]:		84.37
(p1) partículas con una cara fracturada [%]:		91.60

Nota: elaboración propia



j. Ensayo de Revestimientos y desprendimiento de mezclas (AASHTO T-182)

Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Envases para muestras.
- Envase de vidrio de 500ml.
- Agua destilada.
- Espátula metálica y otros.

Procedimiento

- Se obtuvo una muestra de agregado de 3/8" y 1/4" de 100 gramos.
- Se lavó y se secó la muestra.
- Se calentó 5 g de asfalto y se mezcló con el agregado a 140 °C.
- Se introdujo la mezcla en el horno a 60°C durante 2 horas.
- Se colocó la muestra en un recipiente.
- Se añadió 400 ml de agua al envase de vidrio a 25°C.
- Se dejó reposar 18 horas para comenzar la examinación.
- Se observó el no desprendimiento de la capa de asfalto del agregado.

Cálculos

No se visualizó desprendimiento de la capa de asfalto que recubrió el agregado grueso, conforme se describe en la tabla 23 .

Tabla 23

Ensayo de desprendimiento de asfalto

Ensayo de desprendimiento de asfalto AASTHO T-182	Muestra retenida en los tamices:	3/8" - 1/4"
Resultados		Replica # 01
Masa inicial de la muestra [gr]		100.00
asfalto 120-150 [gr]:		5.00
Peso final [gr]:		105.00
Peso desprendido [gr]:		105.00
Desprendimiento visual		No presenta desprendimiento visual.

Nota: elaboración propia

k. *Ensayo de Valor Azul de Metileno (AASHTO T-330)*

Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Pipeta.
- Papel filtro.
- Envases para muestras.
- Azul de metileno.
- Tamices estandarizados N° 200.
- Agua destilada.
- Envase de medidas conocidas.

Procedimiento

- Se obtuvo una muestra que pasa del tamiz N° 200 de 100 gramos.
- La muestra se saturó en un recipiente con agua destilada durante 18 horas.

- Se preparó la solución de azul de metileno (1 litro de agua destilada y 10 gramos de azul de metileno).
- La pipeta contenía 5 cm³ de solución lo cual se añadió a la muestra.
- Se agitó y mezcló la muestra con la solución.
- Se colocó una pequeña muestra con la punta de la pipeta y se soltó una gota sobre papel de filtro Whatman para observar la figura que forma.
- Entonces se agregó consecutivamente 5 cm³ de solución a la muestra dejándolo sobre papel de filtro para formar un círculo casi perfecto (No desbordamiento).

Figura 24

Ensayo de valor de azul de metileno



Nota: elaboración propia

Cálculos

De lo ensayado se obtuvo un valor promedio de 2.7 mg/g de azul de metileno, lo cual se encuentra dentro de los límites que la norma exige (máximo de 10 mg/g). Ver tabla 24.

Tabla 24

Ensayo de azul de metileno

Azul de metileno AASHTO T -330	muestra	filler	
	masa de filler (gr)	5.3	
Resultados		replica 1	replica 2
cantidad de solución (gr)		14.2	14.4
valor de azul de metileno (mg/g)		2.68	2.72

Nota: Elaboración propia

l. Ensayo de densidad relativa y absorción del agregado grueso (ASTM C 127)

Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Termómetro de laboratorio.
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Envases para muestras.
- Agua a 25°C.
- Canastilla metálica permeable.
- Franela (para el secado).

Procedimiento

- Se obtuvo una muestra de 3 kg con el TMN (3/4”).
- La muestra se saturó durante 24 horas.
- Se retiró la muestra del agua y se secó hasta obtener la condición de saturado superficial seco (SSS).
- Para calificar como SSS hay que tomar la muestra y colocarla sobre la franela eliminando la humedad externa y secando las partículas grandes.
- Se preparó agua a una temperatura de prueba de 23 ± 2 °C.

- Se posicionó la canastilla de forma que estuviera conectada a la balanza y sumergida completamente en el agua.
- Se tomo nota de la masa retenida y sumergida en el agua.
- Enseguida se secó en la estufa hasta alcanzar una masa constante.

Figura 25

Densidad relativa y absorción del agregado grueso



Nota: elaboración propia

Cálculos

Como se describe en las tablas 25, 26 y 27, la gravedad específica bruta del agregado grueso, para MAC-01 es de 2.49, para granulometría Superpave SA es de 2.51 y para la granulometría Superpave SB es de 2.51.

Tabla 25

Densidad relativa y absorción para la granulometría MAC-01

Gravedad específica bruta ASTM C127	Identificación de la muestra:	Agregado grueso	
	Temperatura del agua:	23°	
Resultados	Piedra chancada 1		
	Replica #1	Replica #2	
(a) masa de la muestra seca al horno (gr):	608.83	605.51	
(b) masa de la muestra saturada y superficialmente seca (gr):	618.3	620.69	
(c) masa de la muestra sumergida en agua (gr):	375.00	376.00	



Gravedad específica bruta ASTM C127	Identificación de la muestra:	Agregado grueso
	Temperatura del agua:	23°
(gsb) gravedad específica bruta:	2.50	2.47
(gsa) gravedad específica aparente:	2.60	2.64
Absorción (%):	1.56	2.51
Gravedad específica bruta (gsb) promedio:	2.49	
Gravedad específica aparente (gsa) promedio:	2.62	
Absorción promedio (%):	2.03	

Nota: elaboración propia

Tabla 26

Densidad relativa y absorción para la granulometría SA

Gravedad específica bruta ASTM C127	Identificación de la muestra:	Agregado grueso
	Temperatura del agua:	23°
Resultados	Piedra chancada 1	
	Replica #1	Replica #2
(a) masa de la muestra seca al horno (gr):	519.69	545.67
(b) masa de la muestra saturada y superficialmente seca (gr):	530.76	557.298
(c) masa de la muestra sumergida en agua (gr):	322.50	340.80
(gsb) gravedad específica bruta:	2.50	2.52
(gsa) gravedad específica aparente:	2.64	2.66
Absorción (%):	2.13	2.13
Gravedad específica bruta (gsb) promedio:	2.51	
Gravedad específica aparente (gsa) promedio:	2.65	
Absorción promedio (%):	2.13	

Nota: elaboración propia

Tabla 27

Densidad relativa y absorción para la granulometría SB

Gravedad específica bruta ASTM C127	Identificación de la muestra:	Agregado grueso
	Temperatura del agua:	23°
Resultados	Piedra chancada 1	
	Replica #1	Replica #2
(a) masa de la muestra seca al horno (gr):	432.54	458.49
(b) masa de la muestra saturada y superficialmente seca (gr):	441.57	468.06



Gravedad específica bruta ASTM C127	Identificación de la muestra: Temperatura del agua:	Agregado grueso 23°
(c) masa de la muestra sumergida en agua (gr):		269.50 285.76
(gsb) gravedad específica bruta:		2.51 2.51
(gsa) gravedad específica aparente:		2.65 2.65
Absorción (%):		2.09 2.09
Gravedad específica bruta (gsb) promedio:		2.51
Gravedad específica aparente (gsa) promedio:		2.65
Absorción promedio (%):		2.09

Nota: elaboración propia

m. Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino (ASTM C128)

Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Termómetro de laboratorio.
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Envases para muestras.
- Agua a 25°C.
- Picnómetro.
- Molde cónico y pisón.

Procedimiento

- Tras obtener 1 kg de muestra, se secó a 110° C en la estufa hasta que su masa permaneció constante.
- Durante un día entero, se saturó la muestra.
- Después, se utilizó la prueba del cono de absorción tras eliminar el agua sobrante y colocarla en una placa de vidrio para que se secase parcialmente.

- Para registrar su masa, se dejó secar hasta que la prueba del cono de absorción alcanzó el contenido de humedad requerido.
- Se llenó de agua hasta una medida conocida de 25° en un picnómetro.
- A continuación, se llenó la muestra hasta la medida conocida con agua en el picnómetro.
- Tanto la arena zarandeada como la piedra chacada fina se sometieron a este proceso.

Figura 26

Gravedad específica y absorción de agregado fino



Nota: elaboración propia

Cálculos

Como se observa en las tablas 28, 29 y 30, la gravedad específica bruta del agregado fino, para MAC-01 es de 2.51, para granulometría Superpave SA es de 2.52 y para la granulometría Superpave SB es de 2.54.



Tabla 28

Gravedad específica y absorción para la granulometría MAC-01

Gravedad específica del agregado fino ASTM C128	Identificación de la muestra:		Agregados finos	
	Temperatura del agua:		23°	
Resultados	Piedra chancada fina			
			Replica #1	Replica #2
(s) masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr):			521.57	506.42
	86.09		81.23	81.23
Masa de muestra seca al horno	594.47		579.69	572.69
	508.38		498.46	491.46
(b) masa del picnómetro con agua (gr):			652.85	647.7
(c) masa del picnómetro con agua + muestra (gr):			971.46	956.62
(gsb) gravedad específica bruta:			2.50	2.52
(gsa) gravedad específica aparente:			2.68	2.63
Absorción (%):			2.59	1.60
Gravedad específica bruta (gsb) promedio:			2.51	
Gravedad específica aparente (gsa) promedio:			2.65	
Absorción promedio (%):			2.10	

Nota: elaboración propia

Tabla 29

Gravedad específica y absorción para la granulometría SA

Gravedad específica del agregado fino ASTM C128	Identificación de la muestra:		Agregados finos	
	Temperatura del agua:		23°	
Resultados	Piedra chancada fina			
			Replica #1	
(s) masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr):			481.55	
Masa de muestra seca al horno	Masa de charola (gr):		107.82	
	Masa de charola + muestra seca (gr):		582.01	
	(a) masa de la muestra seca al horno (gr):		474.19	
(b) masa del picnómetro con agua (gr):			652.85	
(c) masa del picnómetro con agua + muestra (gr):			946.33	
Gravedad específica bruta (gsb) promedio:			2.52	



Gravedad específica del agregado fino ASTM C128	Identificación de la muestra:	Agregados finos
	Temperatura del agua:	23°
Gravedad específica aparente (gsa) promedio:		2.62
Absorción promedio (%):		1.55

Nota: elaboración propia

Tabla 30

Gravedad específica y absorción para la granulometría SB

Gravedad específica del agregado fino ASTM C128	Identificación de la muestra:	Agregados finos
	Temperatura del agua durante el ensayo:	23
Resultados		Piedra chancada fina
		Replica #1
(s) masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr):		506.42
Masa de muestra seca al horno	Masa de charola (gr):	81.23
	Masa de charola + muestra seca (gr):	582.69
	(a) masa de la muestra seca al horno (gr):	501.46
(b) masa del picnómetro con agua (gr):		647.70
(c) masa del picnómetro con agua + muestra (gr):		956.62
Gravedad específica bruta (gsb) promedio:		2.54
Gravedad específica aparente (gsa) promedio:		2.60
Absorción promedio (%):		0.99

Nota: elaboración propia



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presenta los procedimientos experimentales de los materiales y resultados obtenidos del diseño de mezclas asfálticas en caliente con las granulometrías Marshall (MAC-01), Superpave que pasa por encima de la restricción (SA) y Superpave que pasa por debajo de la restricción (SB). Los resultados comprenden el porcentaje de cemento asfáltico, los pesos específicos, el porcentaje de vacíos, el porcentaje de vacíos de agregados minerales (VAM), los vacíos llenos de cemento asfáltico (VFA), así como la estabilidad y el flujo.

4.1 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

4.1.1 Procedimiento experimental – características volumétricas

a. *Diseño de Mezcla asfáltica en Caliente, método Marshall (ASTM D 6926)*

Equipo

- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Termómetro de laboratorio.
- Molde (cilindro de molde, placas base y collar de extensión).
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Envases para muestras.
- Martillo y pedestal de compactación.
- Soporte para moldes de muestras.
- Extractor de muestras.
- Guantes de cuero.
- Cocina.



Procedimiento

- Dependiendo de la proporción establecida, el asfalto se mezcló con la combinación de agregados y se secó a 110°C hasta obtener una masa constante.
- Se mezcló la combinación granular y asfalto según la temperatura especificada por el proveedor para conseguir la viscosidad especificada, en este caso es de 150°C.
- Cuando se alcanza la temp. de mezcla, se giran la mezcla durante 5 sec, se hizo un cráter en al centro y se vierte el asfalto necesario; luego se realizaron movimientos circulares para el mezclado de forma homogénea controlando la temperatura en todo momento.
- Se colocó el molde en el fondo del pedestal (precalentado a temperatura de mezcla) y se limpió el fondo del molde e introdujo papel no absorbente cortado a medida.
- Se introdujo la mezcla con una cuchara, se hincó 15 veces por el perímetro y 10 veces por el interior con una espátula caliente.
- Se colocó otro trozo de papel no absorbente sobre la mezcla y se compacto con 75 golpes.
- Se retiró el molde del fondo dejando enfriar a temperatura ambiente para evitar daños, luego se extrajo la muestra del molde.
- Después de retirar la muestra del molde, las briquetas se colocaron en una bandeja limpia y lisa para evitar daños.
- Se realizó este procedimiento para cada muestra con diferente contenido de asfalto, pero misma cantidad de agregados.

Figura 27

Elaboración de briquetas de 4 pulg



Nota: elaboración propia

Cálculos

Se elaboraron 21 briquetas con MAC-01, 18 briquetas con granulometría SA y 18 briquetas con granulometría SB, conforme se muestran en el anexo 5.

a. *Ensayo de densidad y gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas (ASTM D2726)*

Equipo

- Termómetro de laboratorio.
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Agua a 25°C.
- Canastilla metálica permeable.

Procedimiento

- Se registró la masa seca de las briquetas a temperatura ambiente.
- Se sumergió las briquetas en agua a 25° C y se tomó nota de la masa sumergida.

- Después de eso se extrajo la briqueta y se secó con una franela hasta que llegue al estado SSS. Se registró la masa saturada y seca superficialmente.

Figura 28

Gravedad específica de las briquetas compactados



Nota: elaboración propia

Cálculos

Se realizaron las mediciones de las 21 briquetas con MAC-01, 18 briquetas con granulometría SA y 18 briquetas con granulometría SB, conforme se detallan en el anexo 5.

b. Ensayo de gravedad específica máxima teórica RICE (ASTM D2041)

Equipo

- Termómetro de laboratorio.
- Bomba de vacío o aspirador de agua.
- Balanza con legibilidad de 0.01 g.
- Agua a 25°C.
- Canastilla metálica permeable.
- Envase de vacío.
- Matraz volumétrico de vacío.



- Manómetro.
- Dispositivo de agitación mecánica.
- Baño María.

Procedimiento

- Se realizó la combinación para briquetas, pero para este caso sin compactar.
- Después del mezclado, las muestras se enfriaron evitando conglomerados de mezcla.
- Se anotó la masa del recipiente al vacío, posteriormente se añadió la muestra y se registró la masa del recipiente con la muestra.
- Se añadió agua a 25°C hasta cubrir completamente la mezcla de agregado y asfalto, contenidos en la botella de vacío.
- Se puso la tapa al recipiente (botella de vacío) y se conectó al vibrador.
- Se armó el juego de manómetros (las mangueras conectan el motor de aspiración a la trampa y de la trampa a la tapa de la botella de aspiración).
- La máquina fue encendida y el motor de vacío fue ajustado para alcanzar una presión de 30 mm Hg en un lapso de 2 minutos, dejándola en funcionamiento durante 15 minutos.
- Pasado este tiempo, se sacó el envase y se llenó con agua usando la tapa y registramos su masa.
- Se sumergió la muestra durante 10 minutos y se anotó la masa sumergida.

Figura 29

Ensayo para determinación de peso específico máximo teórico (RICE)



Nota: elaboración propia

Cálculos

Se determinó el peso específico máximo teórico de las mezclas asfálticas en calientes, con granulometría MAC-01 como se observa en la tabla 31 ; para la granulometría Superpave por encima de la restricción se detalla en la tabla 33y para la granulometría Superpave por debajo de la restricción en la tabla 35.

Seguido a ello se determinó la gravedad específica efectiva del agregado de las mezclas asfálticas en calientes, con granulometría MAC-01 como se observa en la tabla 32; para la granulometría Superpave por encima de la restricción se detalla en la tabla 34 y para la granulometría Superpave por debajo de la restricción en la tabla 36.

Tabla 31

Peso específico máximo teórico (RICE) mezcla con MAC-01

ASTM D2041-11	Muestra				MAC-01		
	Temperatura del agua				24°		
RESULTADOS	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
(A) masa de la muestra seca al aire [gr]	1166	1202	1166	1194	1158	1241	1168



ASTM D2041-11	Muestra				MAC-01		
	Temperatura del agua				24°		
RESULTADOS	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
(B) masa del picnómetro sumergido [gr]	1816	1816	1816	1816	1816	1816	1816
(C) masa del picnómetro y muestra sumergidos [gr]	2500	2511	2502	2513	2493	2538	2488
(Gmm) gravedad específica teórica máxima	2.41	2.36	2.42	2.40	2.40	2.38	2.35

Nota: elaboración propia

Tabla 32

Gravedad específica efectiva de los agregados de MAC-01

% C.A. En peso de la mezcla	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
P.e. del C.A (g/cm ³)	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015
Densidad M. teórica de la mezcla(g/cm ³)	2.41	2.36	2.42	2.40	2.40	2.38	2.35
P.e efectivo del agregado total(g/cm ³)	2.4141	2.366	2.4245	2.3979	2.4031	2.387	2.3508

Nota: elaboración propia

Tabla 33

Peso específico máximo teórico (RICE) mezcla con SA

Gmm ASTM D2041	Muestra		SA			
	Temperatura del agua		24°			
RESULTADOS	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
(A) masa de la muestra seca al aire [gr]	1197	1193	1198	1187	1181	1184
(B) masa del picnómetro sumergido [gr]	1816	1816	1816	1816	1816	1816
(C) masa del picnómetro y muestra sumergidos [gr]	2508	2514	2515	2506	2497	2494
(Gmm) gravedad específica teórica máxima	2.40	2.44	2.43	2.42	2.39	2.37

Nota: elaboración propia

Tabla 34

Gravedad específica efectiva de los agregados de SA

% C.A. En peso de la mezcla	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
P.e. del C.A (g/cm ³)	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015
Densidad M teórica de la mezcla(g/cm ³)	2.40	2.44	2.43	2.42	2.39	2.37
P.e efectivo del agregado total(g/cm³)	2.401	2.4415	2.4322	2.4197	2.3932	2.3709

Nota: elaboración propia

Tabla 35

Peso específico máximo teórico (RICE) mezcla con SB

ASTM D2041	Muestra		SB			
	Temperatura del agua		24°			
RESULTADOS	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
(A) masa de la muestra seca al aire [gr]	1190	1187	1182	1181	1142	1190
(B) masa del picnómetro sumergido [gr]	1816	1816	1816	1816	1816	1816
(C) masa del picnómetro y muestra sumergidos [gr]	2514	2508	2504	2506	2484	2512
(Gmm) gravedad específica teórica máxima	2.43	2.41	2.41	2.42	2.42	2.42

Nota: elaboración propia

Tabla 36

Gravedad específica efectiva de los agregados SB

% C.A. En peso de la mezcla	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
P.e. del C.A (g/cm ³)	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015
Densidad M teórica de la mezcla(g/cm ³)	2.43	2.41	2.41	2.42	2.42	2.42
P.e efectivo del agregado total(g/cm³)	2.4331	2.4124	2.4072	2.4201	2.4243	2.4241

Nota: elaboración propia



4.1.2 Procedimiento experimental – características mecánicas

a. *Ensayo para estabilidad Marshall y flujo de mezclas asfálticas (ASTM D6927)*

Equipo

- Cabezal de ruptura o cabezal de prueba Marshall.
- Máquina de carga por compresión.
- Baño María.
- Dinamómetro.
- Deformímetro.
- Estufa de secado controlado termostáticamente
- Termómetro de laboratorio.
- Guantes de cuero.

Procedimiento

- Se registró la altura de las briquetas.
- Las briquetas se colocaron en un baño de agua a 60°C durante 40 minutos.
Esto ocurrió justo 24 horas después de la compactación.
- La estufa se puso a una temperatura de 20-40°C para el cabezal de rotura.
- En menos de treinta segundos, se sacó la briqueta del baño de agua y se colocó en el cabezal de rotura después de secarla bien con un paño.
- Se volvieron a poner en marcha tanto el deformímetro del cabezal de rotura como el dispositivo de medición de la carga.
- Comenzando a 50 mm/min, se hizo funcionar la máquina de compresión hasta que la indicación de carga comenzó a disminuir o se detuvo.
- Se midió el indicador del deformímetro y se obtuvo una lectura.

- Cada briqueta se sometió a este proceso.

Figura 30

Ensayo de estabilidad y flujo Marshall



Nota: elaboración propia

Cálculos

Se realizó el ensayo de estabilidad y flujo a las 57 briquetas para MAC-01, para SA y para SB, según se observan el anexo 5.

Se llevo a cabo la corrección a la lectura del dial de estabilidad en función al certificado de calibración del equipo “prensa Marshall” (LF-125-2022), el cual se encuentra en el anexo 2.

4.1.3 Cálculo del contenido de asfalto optimo

a. Datos y gráficos obtenidos de los ensayos

- Resumen de ensayos a los materiales

Como se detalló en la sección de materiales, los agregados empleados en este estudio incluyen piedra chancada, piedra chancada fina y arena zarandeada. Con el propósito de simplificar el control de calidad de estos agregados, se clasificó la piedra chancada como agregado grueso, mientras que la piedra

chancada fina y la arena zarandeada se consideraron como agregado fino. Posteriormente, se llevaron a cabo ensayos de control de calidad, el resumen de estos resultados se presenta de manera detallada en las tablas 37 y 38.

Tabla 37*Control de calidad de los agregados gruesos*

Ensayos	Normas internacionales	Resultados de agregado grueso	Requerimiento para altitud < 3000 m.s.n.m
Contenido de humedad	ASTM D 2216	0.04%	...
Abrasión los Ángeles	ASTM C 131	18.94%	35% máx.
Partículas chatas y alargadas	ASTM D 4791	4%	10% máx.
Caras fracturadas	ASTM D 5821	91.60/84.37	90/70

Nota: elaboración propia

Tabla 38*Control de calidad de los agregados finos*

Ensayos	Normas internacionales	Resultados de agregado fino	Requerimiento para altitud < 3000 m.s.n.m
Cont. de humedad	ASTM D 2216	0.09%	...
Eq. de arena	ASTM D 2419	86%	70 min
Azul de metileno	AASHTO T-330	2.7	8 Max
Índice de plasticidad (N° 40)	ASTM D 4318	NP	NP
Índice de plasticidad (N° 200)	ASTM D 4318	NP	NP

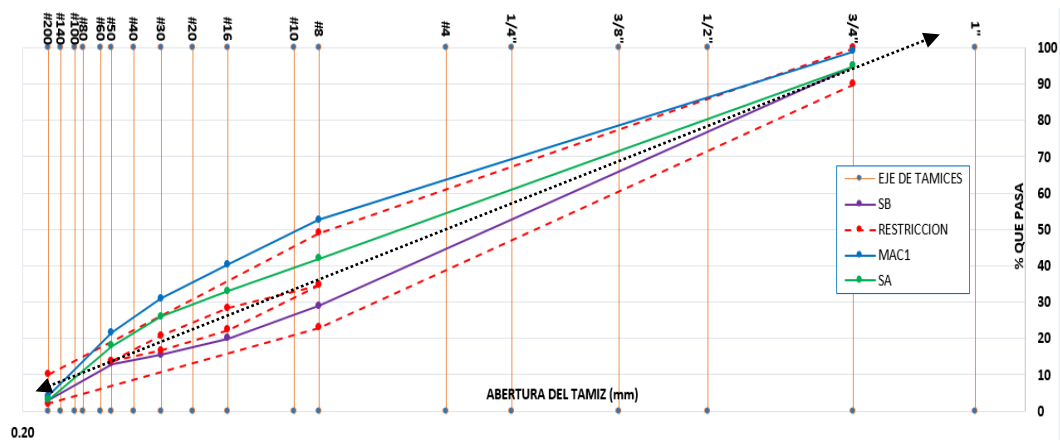
Nota: elaboración propia

- Curvas granulométricas

Como lo establece la metodología de la granulometría Superpave, las mezclas que contienen granulometrías de gradaciones densas son deseables para mitigar los efectos de la deformación permanente. Bajo ese criterio se puede observar en la figura 31, que la curva granulométrica MAC-01 se desprende de la línea de máximas de densidades, lo que se traduce en mayores espacios vacíos intergranulares; en la figura 32 se observa la comparación de las curvas granulométricas en una hoja semilogarítmica en la cual las granulometrías Superpave (SA y SB) cumplen con los parámetros establecidos para MAC-01.

Figura 31

Comparación de curvas granulométricas, con parámetros Superpave



Nota: elaboración propia



Granulometría Marshall	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Máx. densidad teórica (g/cm ³)	2.41	2.36	2.42	2.40	2.40	2.38	2.35
% de Vacíos (Va)	6.65	5.33	5.93	3.84	3.85	3.07	1.99
Estabilidad corregida (Kg)	137.5 3	140.7 6	158.2 7	142.3 6	138.6 1	129.6 3	117.9 5
Flujo (mm)	13.50	14.27	8.59	8.21	9.23	12.23	13.59
P.e. bulk del ag. total (g/cm ³)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
% V.A.M.	13.54	14.51	13.42	12.93	13.21	13.56	14.39
% V.F.A.	50.85	63.26	55.80	70.28	70.88	77.40	86.15
P.e efectivo del ag. Total (g/cm ³)	2.41	2.37	2.42	2.40	2.40	2.39	2.35
Factor de rigidez	2586. 7	2504. 7	4677. 8	4402. 9	3814. 9	2691. 3	2204. 6

Nota: elaboración propia

Tabla 40

Resumen de resultados de diseño Marshall con SA

Granulometría SA	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6
% C.A.	4	4.5	5	5.5	6	6.5
% de Agregado Grueso	40.32	40.11	39.90	39.69	39.48	39.27
% de agregado Fino	55.68	55.39	55.10	54.81	54.52	54.23
P.e. del C.A (g/cm ³)	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
P.e.b del ag. Grueso (g/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
P.e.b del ag. Fino (g/cm ³)	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
P. U. de la Briqueta (g/cm ³)	2.26	2.29	2.31	2.32	2.33	2.32
Máx. densidad teórica (g/cm ³)	2.40	2.44	2.43	2.42	2.39	2.37
% de Vacíos (Va)	5.95	5.98	5.00	3.90	2.66	1.93
Estabilidad corregida (Kg)	155.66	184.45	156.17	144.24	133.61	141.02
Flujo (mm)	11.92	6.71	8.79	11.03	13.13	12.33
P.e. bulk del ag. total (g/cm ³)	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
% V.A.M.	13.88	12.91	12.81	12.72	13.03	13.65
% V.F.A.	57.11	53.71	60.94	69.31	79.59	85.90
P.e efectivo del ag. Total (g/cm ³)	2.40	2.44	2.43	2.42	2.39	2.37
Factor de rigidez	3317.87	6984.05	4511.88	3323.09	2585.66	2904.27

Nota: elaboración propia

Tabla 41

Resumen de resultados de diseño Marshall con SB

Granulometría SB	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6
% C.A.	4	4.5	5	5.5	6	6.5
% de Agregado Grueso	43.20	42.98	42.75	42.53	42.30	42.08
% de agregado Fino	52.80	52.53	52.25	51.98	51.70	51.43
P.e. del C.A (g/cm ³)	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
P.e.b del ag. Grueso (g/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
P.e.b del ag. Fino (g/cm ³)	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
P. U. de la Briqueta (g/cm ³)	2.27	2.29	2.31	2.32	2.33	2.34
Máx. densidad teórica (g/cm ³)	2.43	2.41	2.41	2.42	2.42	2.42
% de Vacíos (Va)	6.52	4.90	3.84	3.90	3.65	3.27
Estabilidad corregida (Kg)	134.01	151.81	146.58	152.42	156.82	132.16
Flujo (mm)	11.67	11.04	9.88	12.00	10.79	11.25
P.e. bulk del ag. total (g/cm ³)	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
% V.A.M.	13.67	13.38	13.06	13.12	13.22	13.35
% V.F.A.	52.32	63.39	70.64	70.31	72.36	75.50
P.e efectivo del ag. Total (g/cm ³)	2.43	2.41	2.41	2.42	2.42	2.42
Factor de rigidez	2917.60	3492.21	3770.38	3226.23	3691.02	2983.77

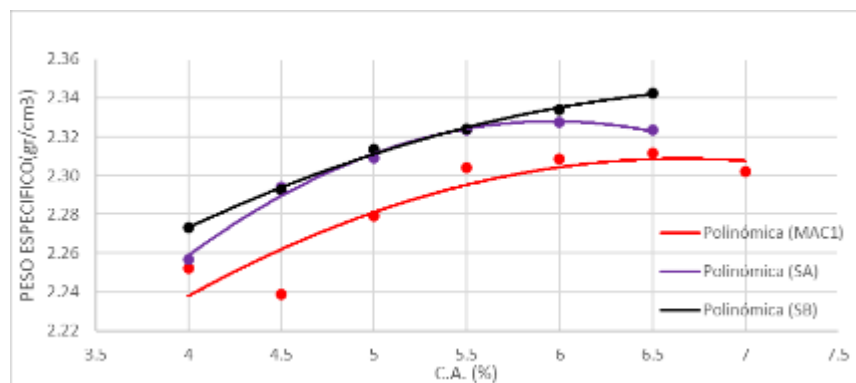
Nota: elaboración propia

b. Gráficos de características volumétricas

- Peso específico.

Figura 33

Comparación de Peso unitario en relación al % de cemento asfáltico



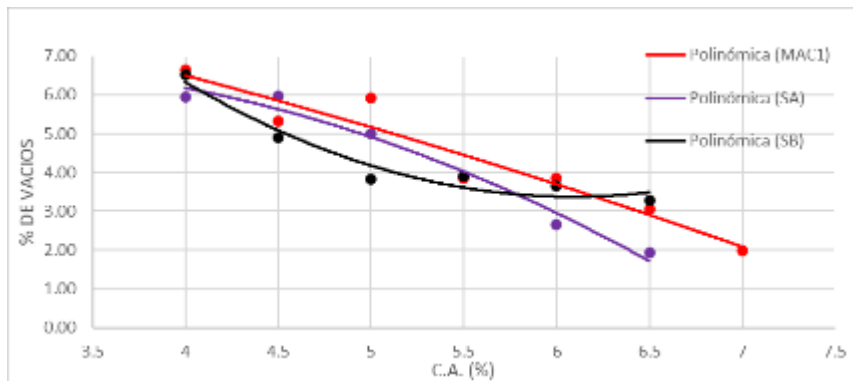
Nota: elaboración propia

En la figura 33, se observa que las briquetas con granulometría Superpave (SA y SB) producen mayores pesos específicos que las briquetas con granulometría Marshall (MAC-01).

- Porcentaje de vacíos

Figura 34

Comparación de % de vacíos en relación al % de cemento asfáltico



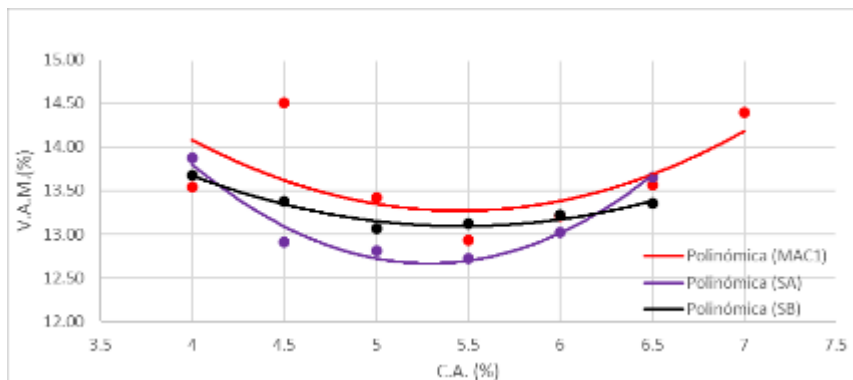
Nota: elaboración propia

En la figura 34, se observa que las briquetas con granulometría Superpave (SA y SB) producen menores % de vacíos que las briquetas con granulometría Marshall.

- Porcentaje de VMA

Figura 35

Comparación de % de VMA en relación al % de cemento asfáltico



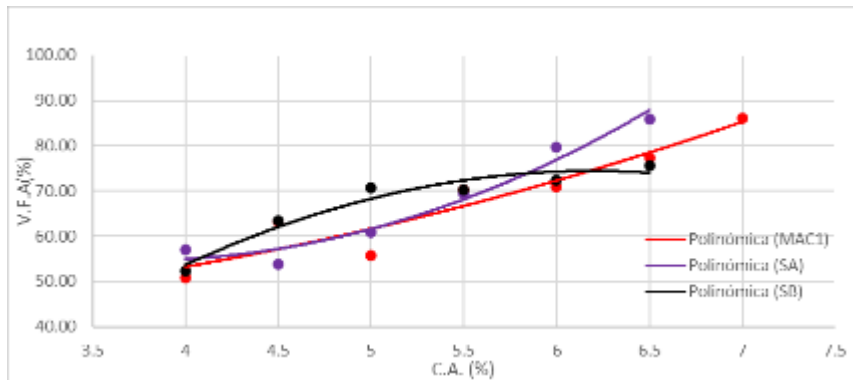
Nota: elaboración propia

En la figura 35, se observa que las briquetas con granulometría Superpave (SA y SB) producen menores % VMA, en comparación a las briquetas con granulometría Marshall (MAC-01).

- Porcentaje de VFA

Figura 36

Comparación de % de VFA en relación al % de cemento asfáltico



Nota: elaboración propia

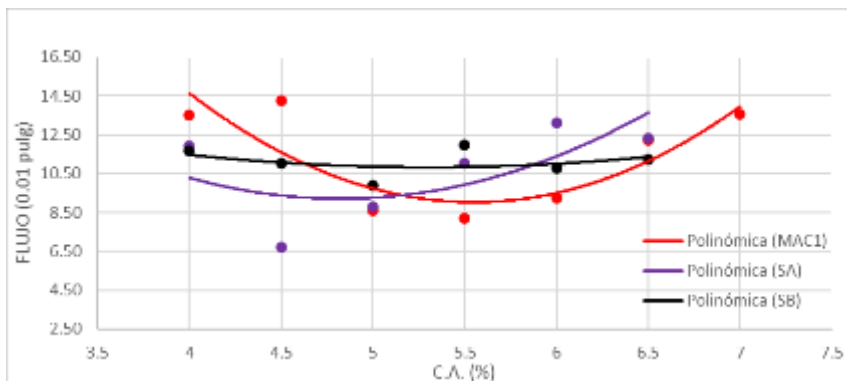
En la figura 36, se observa que las briquetas con granulometría Superpave (SA y SB) producen mayores % VFA que las briquetas con MAC-01.

c. Gráficos de características mecánicas.

- Flujo

Figura 37

Comparación de flujo (0.01 pulg) en relación al % de cemento asfáltico



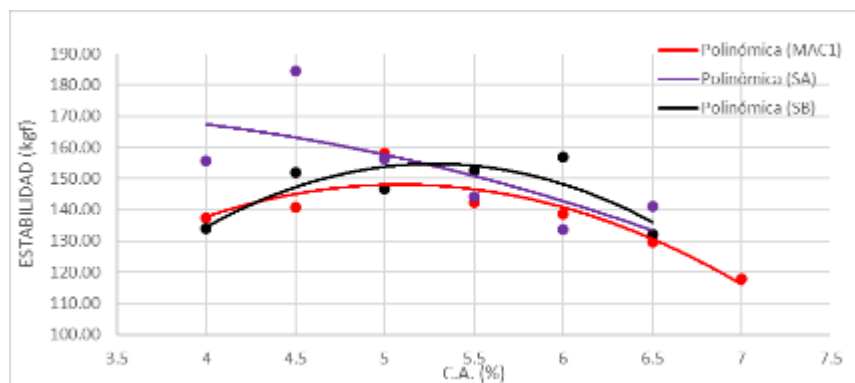
Nota: elaboración propia

En la figura 37 , se observa que las briquetas con granulometría Superpave (SA y SB) producen mayor flujo en comparación con las briquetas con granulometría Marshall (MAC-01).

- Estabilidad

Figura 38

Comparación de estabilidad (kgf) en relación al % de cemento asfáltico



Nota: elaboración propia

En la figura 38, se observa que los especímenes con granulometría Superpave (SA y SB) producen mayor estabilidad que los especímenes con granulometría Marshall (MAC-01).

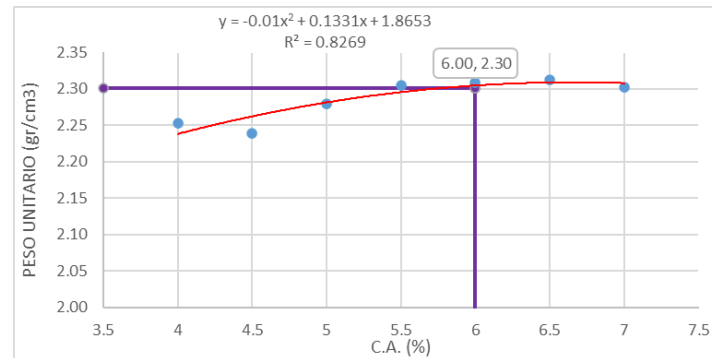
4.1.3.1 Mezcla con granulometría tipo MAC-01

Se llevó a cabo el diseño de una mezcla asfáltica en caliente mediante el método Marshall, utilizando la granulometría MAC-01 con un tamaño máximo nominal de agregados de 3/4" (19 mm) y un cemento asfáltico PEN 120-150. Se llevaron a cabo ensayos para evaluar las propiedades volumétricas y mecánicas, variando la cantidad de cemento asfáltico en rangos del 4.0% , 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y al 7.0% en peso de la mezcla total. Los datos recopilados se detallan en la tabla 39, y

se utilizaron para generar gráficos, presentados en las figuras 39 a 44, con el objetivo de determinar el contenido óptimo de asfalto.

Figura 39

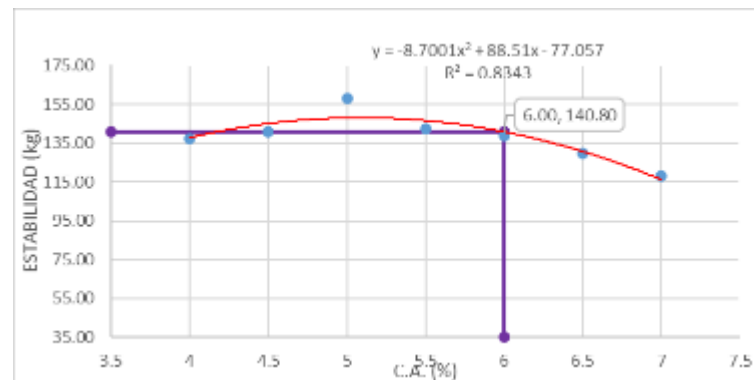
Peso unitario en relación al % de cemento asfáltico, MAC-01



Nota: elaboración propia

Figura 40

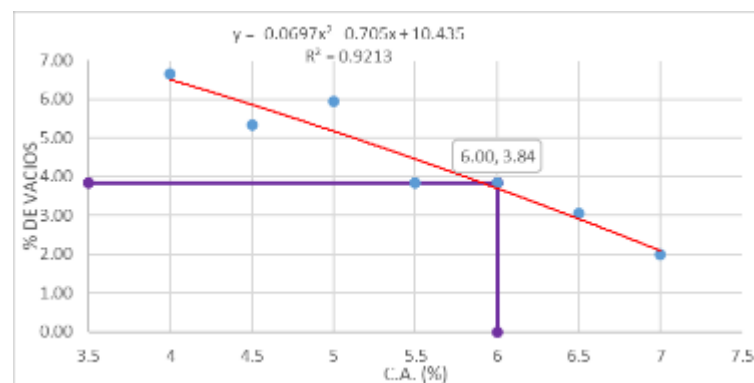
Estabilidad (kgf) en relación al cemento asfáltico (%), MAC-01



Nota: elaboración propia

Figura 41

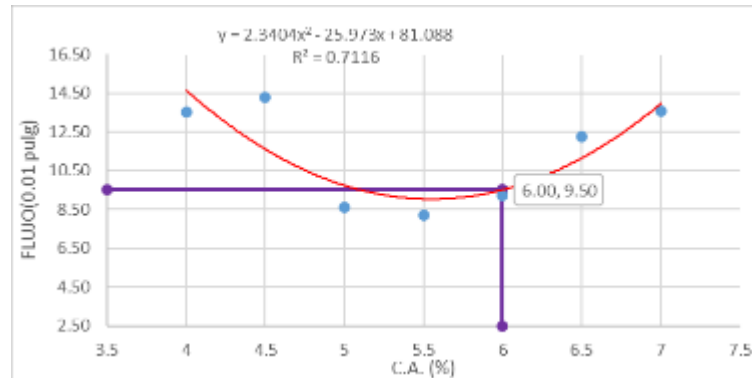
Vacíos (%) en relación al cemento asfáltico (%), MAC-01



Nota: elaboración propia

Figura 42

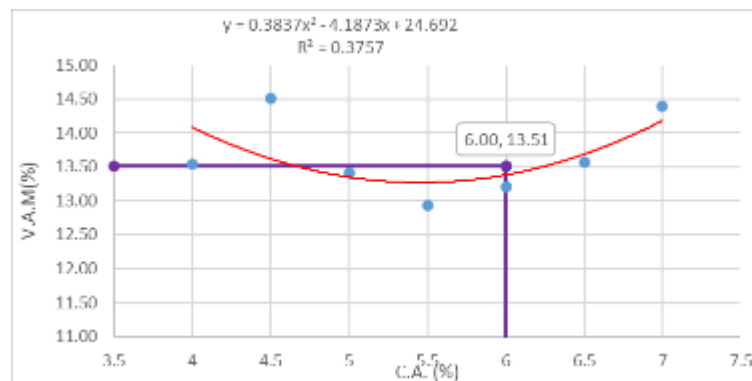
Flujo (0.01 pulg) en relación al cemento asfáltico (%), MAC-01



Nota: elaboración propia

Figura 43

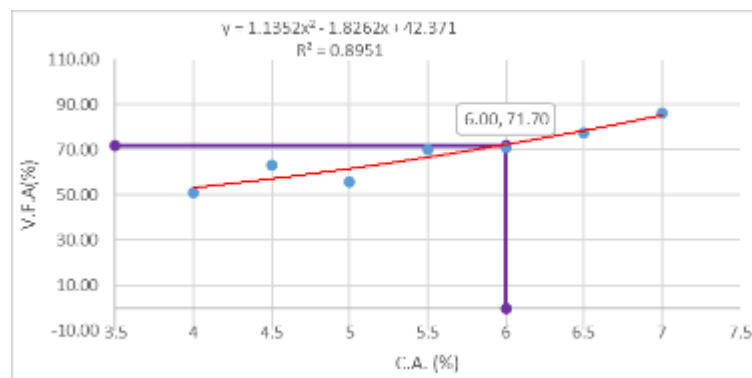
V.A.M (%) en relación al cemento asfáltico (%), MAC-01



Nota: Elaboración propia

Figura 44

V.F.A (%) en relación al cemento asfáltico (%), MAC-01



Nota: elaboración propia

A partir del análisis de las figuras 39 a 44 , se determinó el contenido óptimo de asfalto para la mezcla con granulometría MAC-01 es del 6.0%, según se detalla en la tabla 42.

Tabla 42

Resultados teóricos para un 6.0% de C.A. granulometría MAC-01

Contenido óptimo de asfalto 6.0%		MIN	MAX
% Cemento Asfáltico	6		
Peso específico de briqueta	2.30		
% Vacíos	3.84	3	5
Vacíos Agregados Minerales	13.51	13	
Vacíos llenados con C. Asfáltico	71.70	65	75
Flujo (0.01 pulg)	9.50	8	14
Estabilidad	1407.99	850	
Factor de rigidez	3762.79	1700	4000

Nota: elaboración propia

Dado que el contenido óptimo de asfalto teórico del 6.0% cumplió con los parámetros definidos en la metodología Marshall, se llevó a cabo la verificación de este contenido de asfalto. Los datos y cálculos correspondientes se presentan en la tabla 43.

Tabla 43

Comprobación para un 6. % C.A. para granulometría MAC-01

Granulometría MAC-01	M1	M2	M3	PROM
% C.A. En peso de la mezcla	6	6	6	6.00
% de Agregado Grueso	49.47	49.47	49.47	49.47
% de agregado Fino	44.53	44.53	44.53	44.53
P.e. del C.A (g/cm ³)	1.02	1.02	1.02	1.02
P.e. del Agregado Grueso bulk (g/cm ³)	2.49	2.49	2.49	2.49
P.e. del Agregado Fino bulk (g/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
Altura promedio del espécimen (cm)	63.43	63.08	63.13	63.21



Granulometría MAC-01	M1	M2	M3	PROM
Factor de corrección por altura	1.00	1.01	1.01	1.01
Peso del espécimen al aire (gr)	1163.00	1172.00	1172.00	1169.00
Peso del espécimen saturada (gr)	1164.00	1173.00	1173.00	1170.00
Peso del espécimen sumergido (gr)	661.00	668.00	666.00	665.00
Peso específico de espécimen (g/cm ³)	2.31	2.31	2.31	2.31
Máxima densidad teórica (g/cm ³)	2.40	2.39	2.41	2.40
% de Vacíos (Va)	3.91	3.15	4.33	3.80
Estabilidad dial	432.00	425.00	385.00	414.00
Estabilidad corrección de mordaza (Kg)	1435.92	1412.72	1280.00	1376.21
Estabilidad corregida por altura (Kg)	1438.61	1427.73	1292.00	1386.11
Flujo dial	355.00	370.00	365.00	363.33
Flujo (0.01 pulg)	9.02	9.40	9.27	9.23
P.e. bulk del agregado total(g/cm ³)	2.50	2.50	2.50	2.50
% V.A.M.	13.31	12.99	13.33	13.21
% V.F.A.	70.61	75.75	67.50	71.29
P.e efectivo del agregado total(g/cm ³)	2.41	2.37	2.42	2.40
Factor de rigidez	40524.24	38587.27	35397.30	38169.60

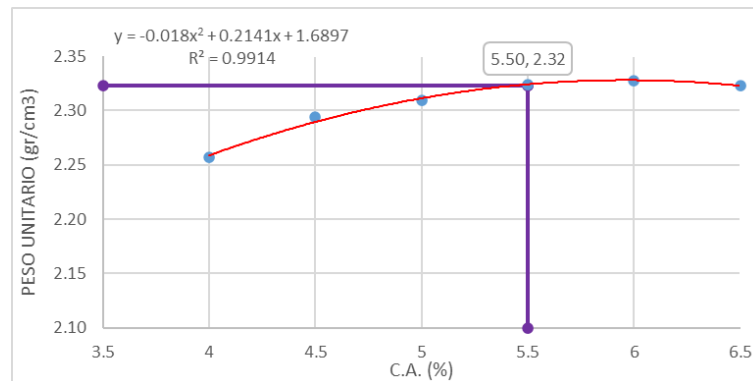
Nota: elaboración propia

4.1.3.2 Mezcla con granulometría Superpave tipo SA

Se llevó a cabo el diseño de una mezcla asfáltica en caliente utilizando la granulometría Superpave por encima de la restricción, con un tamaño máximo nominal de agregados de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y cemento asfáltico PEN 120-150. Se realizaron ensayos para evaluar las propiedades volumétricas y mecánicas, variando la cantidad de cemento asfáltico en 4.0%, 4.5%, 5.0, 5.5%, 6.0% y 6.5% en peso de la mezcla total. Los datos recopilados están detallados en la tabla 40, y se utilizaron para generar gráficos que muestran el contenido óptimo de asfalto para la mezcla modificada con SA. Estos gráficos se presentan en las figuras 45 a 50.

Figura 45

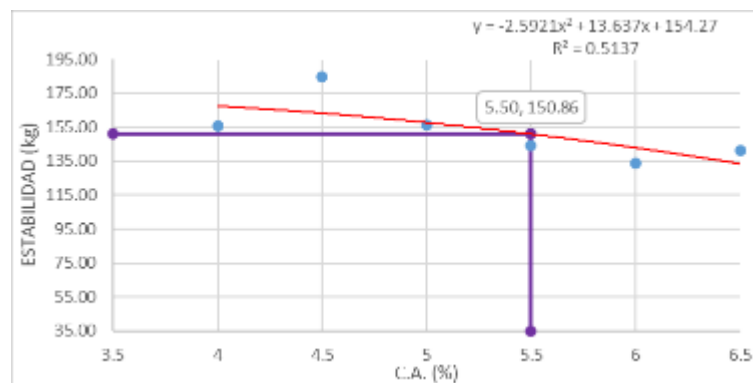
Peso unitario (gr/cm³) en relación al % de cemento asfáltico, SA



Nota: elaboración propia

Figura 46

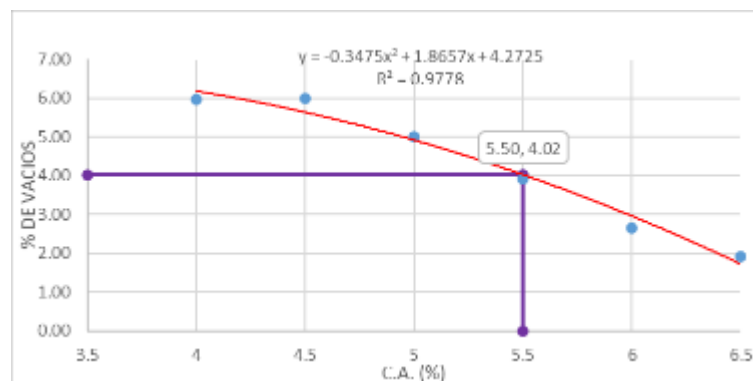
Estabilidad (kgf) en relación al cemento asfáltico (%), SA



Nota: elaboración propia

Figura 47

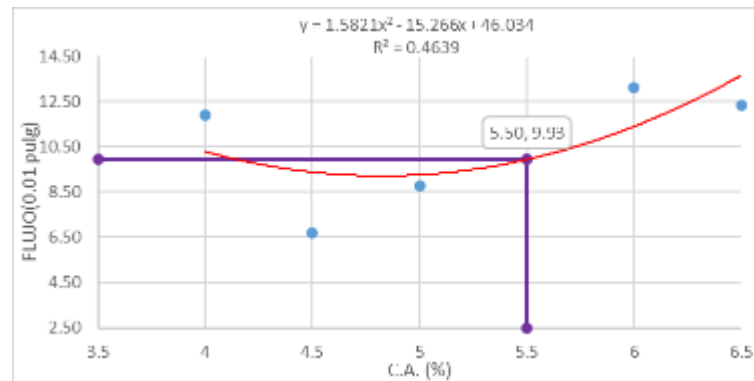
Vacíos (%) en relación al cemento asfáltico (%), SA



Nota: elaboración propia

Figura 48

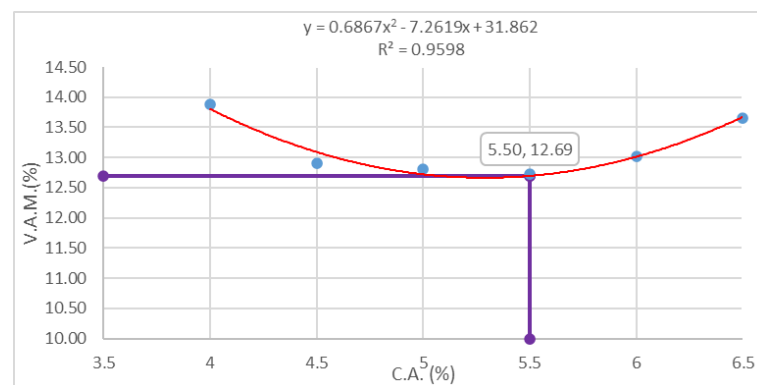
Flujo (0.01 pulg) en relación al cemento asfáltico (%), SA



Nota: elaboración propia

Figura 49

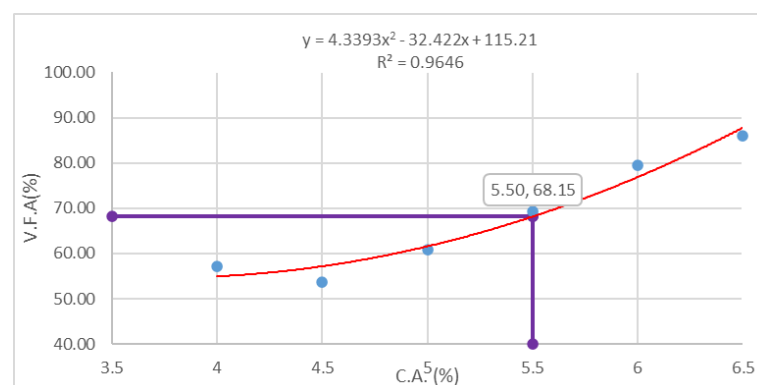
V.A.M (%) en relación al cemento asfáltico (%), SA



Nota: elaboración propia

Figura 50

V.F.A (%) en relación al cemento asfáltico (%), SA



Nota: elaboración propia

En base al análisis de las figuras 45 a 50, se obtuvo que el contenido óptimo de asfalto para la mezcla con granulometría Superpave por encima de la restricción es del 5.5%, tal como se especifica en la tabla 44.

Tabla 44

Resultados teóricos para un 5.5% de C.A. granulometría SA

Contenido óptimo de asfalto 5.5%		MIN	MAX
% Cemento Asfáltico	5.5		
Peso específico de briqueta	2.32		
% Vacíos	4.02	3	5
Vacíos Agregados Minerales	12.69	13	
Vacíos llenados con C. Asfáltico	68.15	65	75
Flujo (0.01 pulg)	9.93	8	14
Estabilidad	1508.62	850	
Factor de rigidez	3859.10	1700	4000

Nota: elaboración propia

Considerando que el contenido óptimo de asfalto teórico establecido en un 5.5% cumplió con los criterios definidos por la metodología Marshall, se llevó a cabo la validación de dicho contenido. Los datos y cálculos asociados a esta verificación se encuentran detallados en la tabla 45.

Tabla 45

Comprobación para un 5.5% C.A. para granulometría SA

Granulometría SA	SA1	SA2	SA3	PROM
% C.A. En peso de la mezcla	5.50	5.50	5.50	5.50
% de Agregado Grueso	49.74	49.74	49.74	49.74
% de agregado Fino	44.76	44.76	44.76	44.76
P.e. del C.A (g/cm ³)	1.02	1.02	1.02	1.02



Granulometría SA	SA1	SA2	SA3	PROM
P.e. del Agregado Grueso bulk (g/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
P.e. del Agregado Fino bulk (g/cm ³)	2.52	2.52	2.52	2.52
Altura promedio del espécimen (cm)	61.67	62.25	62.32	62.08
Factor de corrección por altura	1.05	1.03	1.03	1.04
Peso del espécimen al aire (gr)	1179.00	1177.00	1178.00	1178.00
Peso del espécimen saturada (gr)	1180.00	1179.00	1179.00	1179.33
Peso del espécimen sumergido (gr)	676.00	674.00	671.00	673.67
Peso específico de espécimen (g/cm ³)	2.33	2.32	2.31	2.32
Máxima densidad teórica (g/cm ³)	2.41	2.42	2.43	2.42
% de Vacíos (Va)	3.19	3.94	4.63	3.92
Estabilidad dial	427.00	430.00	450.00	435.67
Estabilidad corrección de mordaza (Kg)	1419.35	1429.29	1495.54	1448.06
Estabilidad corregida por altura (Kg)	1486.32	1473.96	1539.66	1499.98
Flujo dial	385.00	485.00	453.00	441.00
Flujo (0.01 pulg)	9.78	12.32	11.51	11.20
P.e. bulk del agregado total(g/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
% V.A.M.	12.31	12.63	13.07	12.67
% V.F.A.	74.09	68.78	64.61	69.16
P.e efectivo del agregado total(g/cm ³)	2.41	2.42	2.42	2.42
Factor de rigidez	37234.84	29193.63	32622.05	33016.84

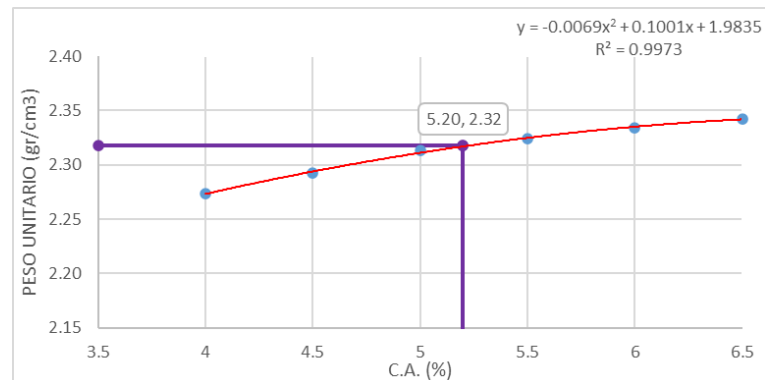
Nota: elaboración propia

4.1.3.3 Mezcla con granulometría Superpave tipo SB

Se efectuó el diseño de una mezcla asfáltica en caliente utilizando la granulometría Superpave por debajo de la restricción, con un tamaño máximo nominal de agregados de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y cemento asfáltico PEN 120-150. Se realizaron ensayos para evaluar las propiedades volumétricas y mecánicas, variando la cantidad de cemento asfáltico de 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5% en peso de la mezcla total. Los datos obtenidos se detallan en la tabla 41 y se utilizaron para generar gráficos que muestran el contenido óptimo de asfalto para la mezcla modificada con granulometría SB. Estos gráficos se presentan en las figuras 51 a 56.

Figura 51

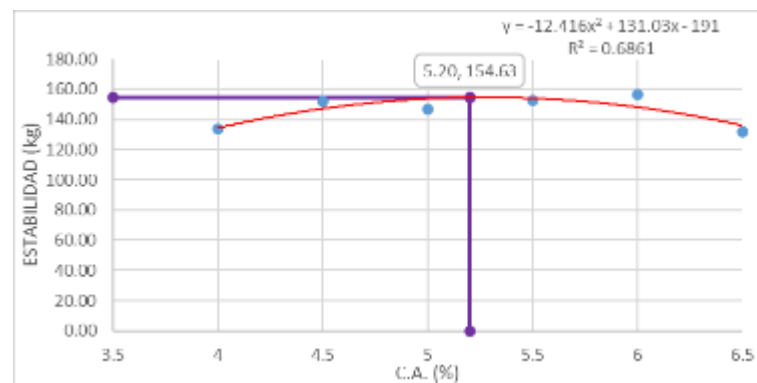
Peso unitario (gr/cm³) en relación al % de cemento asfáltico, SB



Nota: elaboración propia

Figura 52

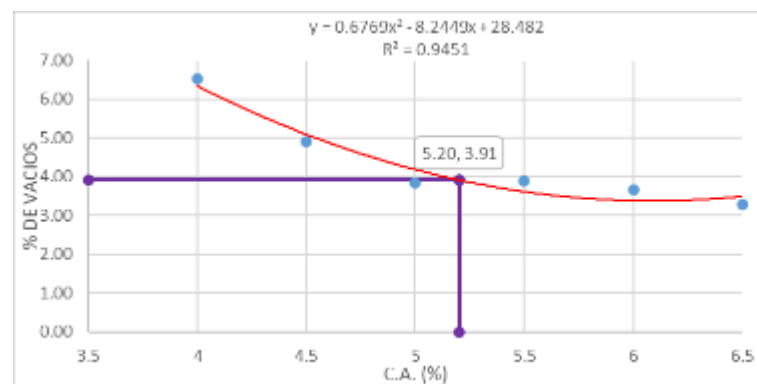
Estabilidad (kgf) en relación al cemento asfáltico (%), SB



Nota: elaboración propia

Figura 53

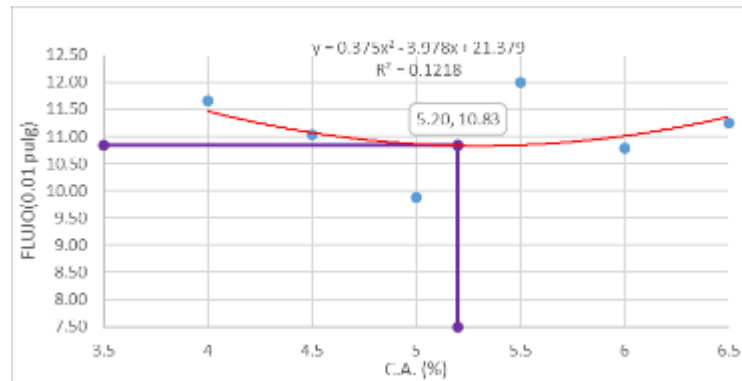
Vacíos (%) en relación al cemento asfáltico (%), SB



Nota: elaboración propia

Figura 54

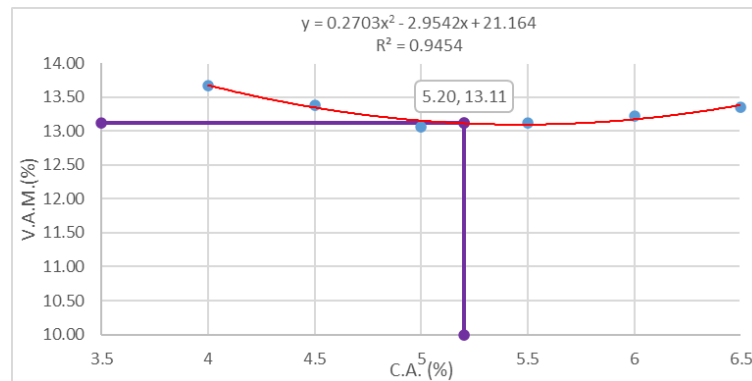
Flujo (0.01 pulg) en relación al cemento asfáltico (%), SB



Nota: elaboración propia

Figura 55

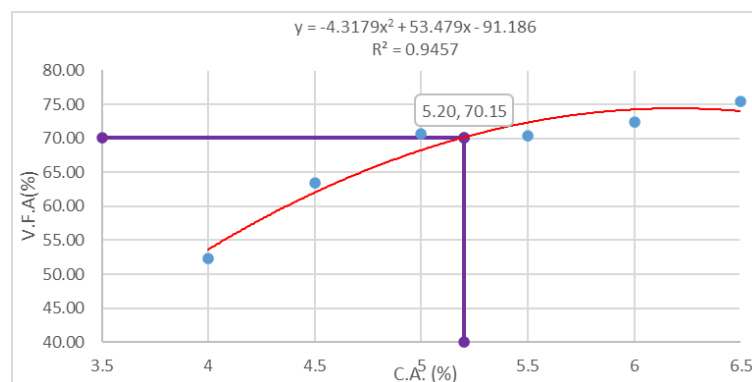
V.A.M (%) en relación al cemento asfáltico (%), SB



Nota: elaboración propia

Figura 56

V.F.A (%) en relación al cemento asfáltico (%), SB



Nota: elaboración propia

A partir del análisis de las figuras 51 a 56, se determinó que el contenido óptimo de asfalto para la mezcla con granulometría Superpave por debajo de la restricción es del 6.0%, según se detalla en la tabla 46.

Tabla 46

Resultados teóricos para un 5.2% de C.A. granulometría SB

Contenido óptimo de asfalto 5.2%		MIN	MAX
% Cemento Asfáltico	5.2		
Peso específico de briqueta	2.32		
% Vacíos	3.91	3	5
Vacíos Agregados Minerales	10.83	13	
Vacíos llenados con C. Asfáltico	70.15	65	75
Flujo (0.01 pulg)	10.83	8	14
Estabilidad	1546.27	850	
Factor de rigidez	3625.39	1700	4000

Nota: elaboración propia

Dado que el contenido óptimo de asfalto teórico del 5.2% cumplió con los parámetros definidos en la metodología Marshall, se llevó a cabo la verificación de este contenido de asfalto. Los datos y cálculos correspondientes se presentan en la tabla 47 .

Tabla 47

Comprobación para un 5.2% C.A. para granulometría SB

Granulometría SB	SB1	SB2	SB3	PROM
% C.A. En peso de la mezcla	5.2	5.2	5.2	5.20
% de Agregado Grueso	49.89	49.89	49.89	49.89
% de agregado Fino	44.91	44.91	44.91	44.91
P.e. del C.A (g/cm ³)	1.02	1.02	1.02	1.02
P.e. del Agregado Grueso bulk (g/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
P.e. del Agregado Fino bulk (g/cm ³)	2.54	2.54	2.54	2.54
Altura promedio del espécimen (cm)	66.15	65.18	63.83	65.05



Granulometría SB	SB1	SB2	SB3	PROM
Factor de corrección por altura	0.94	0.96	0.99	0.96
Peso del espécimen al aire (gr)	1174.00	1182.00	1180.00	1178.67
Peso del espécimen saturada (gr)	1179.00	1185.00	1184.00	1182.67
Peso del espécimen sumergido (gr)	669.00	671.00	674.00	671.33
Peso específico de espécimen (g/cm ³)	2.30	2.30	2.31	2.31
Máxima densidad teórica (g/cm ³)	2.41	2.40	2.40	2.40
% de Vacíos (Va)	4.48	4.10	3.59	4.06
Estabilidad dial	471.00	474.00	480.00	475.00
Estabilidad corrección de mordaza (Kg)	1565.03	1574.95	1594.79	1578.26
Estabilidad corregida por altura (Kg)	1471.62	1509.74	1581.83	1521.06
Flujo dial	395.00	410.00	420.00	408.33
Flujo (0.01 pulg)	10.03	10.41	10.67	10.37
P.e. bulk del agregado total(g/cm ³)	2.53	2.53	2.53	2.53
% V.A.M.	13.61	13.70	13.17	13.49
% V.F.A.	67.06	70.04	72.70	69.93
P.e efectivo del agregado total(g/cm ³)	2.41	2.37	2.42	2.40
Factor de rigidez	37256.16	36822.93	37662.73	37247.27

Nota: elaboración propia

4.2 RESULTADOS DE CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS

Tabla 48

Resumen de resultados de propiedades volumétricas

RESUMEN	G. Marshall MAC -1	G. Superpave encima	G. Superpave debajo	Parámetros MAC	
				MIN	MAX
% Cemento Asfáltico	6.00	5.50	5.20	...	...
Peso específico de espécimen	2.31	2.32	2.32	...	...
% Vacíos	3.80	3.92	4.06	3	5
Vacíos Agregados Minerales	13.21	12.67	13.49	13	...
Vacíos llenados con C. Asfáltico	71.29	69.16	69.93	65	75

Nota: elaboración propia

4.2.1 Análisis de las Características Volumétricas

- Contenido óptimo de asfalto (%):

El descenso progresivo del contenido óptimo de asfalto de las mezclas con MAC-01 a las de con Superpave (SA y SB) indica una mejora en la eficiencia del uso de asfalto. Esta reducción sugiere la posibilidad de lograr mezclas más equilibradas y eficientes, con el potencial de beneficios económicos y una mayor durabilidad de las mezclas, siendo un indicativo positivo para la implementación de la granulometría Superpave.

- Peso específico de especímenes (gr/cm^3):

En la Tabla 48 se verifica que las mezclas modificadas con granulometría Superpave SA y SB, son más densos que la mezcla patrón con granulometría MAC-01 en $0.01 \text{ gr}/\text{cm}^3$ y $0.01 \text{ gr}/\text{cm}^3$, respectivamente.

A pesar de las variaciones mínimas, la uniformidad en el peso específico entre las diferentes mezclas indica consistencia en la densidad, lo cual es esencial para garantizar la integridad estructural de las mezclas asfálticas (Speight, 2016). Este hallazgo resalta la capacidad de las mezclas con granulometría Superpave para mantener niveles de densidad comparables a la mezcla convencional MAC-01.

- % Vacíos:

En la Tabla 48 se observa que las mezclas modificadas con granulometría Superpave SA y SB presentan vacíos de 3.92% y 4.06%, correlativamente. La mezcla patrón con granulometría Marshall (MAC-01) presenta vacíos de 3.80%,



cuando lo ideal es que las mezclas asfálticas en caliente presenten vacíos cercanos al 4.00% (Garnica et al., 2004).

Considerando los estándares ideales del porcentaje de vacíos que se sitúa en el 4%, los porcentajes de vacíos de la granulometría Superpave son próximos al 4% en comparación a la mezcla con MAC-01.

- Vacíos en agregados minerales (%):

En la Tabla 48 se observa que las mezclas modificadas con granulometría Superpave SA y SB presentan un % VMA de 12.67% y 13.46%, correspondientemente. La mezcla patrón con granulometría Marshall (MAC-01) presenta un 13.21%.

La reducción en los vacíos en agregados minerales con la granulometría Superpave indica una mejora en la cohesión de las mezclas (Hadi, 2015). Esta disminución en el VMA sugiere una mayor integración entre los agregados y el asfalto, contribuyendo a una resistencia estructural mejorada.

- Vacíos llenados con asfalto (%):

En la Tabla 48 se observa, que las mezclas modificadas con granulometría Superpave SA y SB presentan un % VFA de 69.16% y 69.93%, respectivamente. La mezcla patrón con granulometría Marshall (MAC-01) presenta un 71.29%.

La reducción en los vacíos llenos con asfalto en mezclas con granulometría Superpave señala una mejora en la capacidad de llenado y cohesión de las mezclas. Esta mejora sugiere una distribución más uniforme del asfalto en la mezcla, promoviendo una mayor cohesión y resistencia general (Minaya & Ordóñez, 2006).

4.2.2 Interpretación de las Características Volumétricas

El contenido óptimo de asfalto es reducido en las mezclas con granulometría Superpave manteniendo el porcentaje de vacíos próximos al ideal del 4%, se resalta la eficiencia en la utilización del asfalto, posiblemente traduciéndose en carpetas de rodadura más duraderas. La consistencia en el peso específico respalda la idea de que el uso de granulometría Superpave mantiene la densidad necesaria para la integridad estructural. La mejora en la cohesión de los agregados minerales y el incremento en la capacidad de llenado con asfalto sugieren que las mezclas con granulometría Superpave mejoran los vacíos mediante una mayor integración de los componentes. En su conjunto, estos resultados respaldan la implementación de granulometría Superpave como una alternativa eficiente y duradera en mezclas asfálticas en caliente.

4.3 RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tabla 49

Resumen de resultados de propiedades mecánicas

RESUMEN	G. Marshall MAC -1	G. Superpave encima	G. Superpave debajo	Parámetros MAC	
				MIN	MAX
Flujo (0.01 pulg)	9.23	11.20	10.37	8	14
Estabilidad (kgf)	1386.11	1499.98	1521.06	850	...
Factor de rigidez	3816.96	3301.68	3724.73	1700	4000

Nota: elaboración propia

4.3.1 Análisis de las Características Mecánicas

- Flujo (0.01 pulg)

En la Tabla 49 se observa que las mezclas modificadas con granulometría Superpave SA y SB, presentan flujos de 11.20% y 10.37%, correspondientemente.



Mientras que las briquetas con granulometría Marshall (MAC-01) presentan un 9.23%.

El incremento en el flujo de las mezclas con granulometría MAC-01 a Superpave (SA y SB) indica una mayor flexibilidad en las mezclas con Superpave. Esta mejora en la flexibilidad es esencial para resistir deformaciones bajo cargas cíclicas, sugiriendo una mayor durabilidad de los pavimentos construidos con granulometría Superpave.

- Estabilidad (kgf)

En la Tabla 49 se observa que las mezclas modificadas con granulometría Superpave SA y SB, presentan una estabilidad de 1499.98% y 1521.06%, respectivamente. Mientras que la mezcla patrón con granulometría Marshall (MAC-01) presenta un 1386.11%.

Se aprecia una mejora progresiva en la estabilidad de las mezclas con granulometría MAC-01 a Superpave (SA y SB), lo que connota una mayor capacidad para resistir esfuerzos y cargas (Marin & Guzman, 2003). Este aumento en la estabilidad es esencial para garantizar la resistencia y durabilidad de las carpetas asfálticas, lo cual respalda la viabilidad del uso de la granulometría Superpave como una opción de mejora.

4.3.2 Interpretación de las Características Mecánicas

El aumento en el flujo de las mezclas con granulometría Superpave junto a la mejora en la estabilidad, destaca la flexibilidad y resistencia superior de estas mezclas frente a la convencional con granulometría MAC-01. Este incremento en la flexibilidad, sin comprometer la resistencia estructural, como se evidencia por



el mantenimiento de los valores del factor de rigidez dentro de límites aceptables, resalta la capacidad de Superpave para adaptarse a las variadas demandas del tráfico y las condiciones climáticas. En conjunto, estos resultados respaldan la implementación de la granulometría Superpave como una elección mecánicamente resistente y duradera, brindando solidez y flexibilidad a las carpetas de rodadura asfálticas.

4.4 PRUEBA DE HIPÓTESIS – CONTRASTACIÓN

Se presenta la contrastación de la hipótesis general que sostiene que "El uso de la granulometría Superpave mejora las características funcionales del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno". Este contraste se realiza mediante la prueba T de Student, considerando los resultados obtenidos de las características volumétricas y mecánicas tanto de la mezcla asfáltica en caliente con MAC-01 así como de las mezclas modificadas con la granulometría Superpave.

4.4.1 Prueba de hipótesis – H1

Con el objetivo de evaluar la hipótesis específica 01, que postula que "El uso de la granulometría Superpave mejora las características volumétricas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno", se llevó a cabo un contraste mediante la prueba T de Student de los indicadores asociados a dichas características volumétricas. Los resultados estadísticos obtenidos para estos indicadores permitieron determinar el respaldo a la premisa de la H1. Los resultados de este contraste se presentan detalladamente en la tabla 50.

Tabla 50*Indicadores de la hipótesis específica 1*

Dim.	Indicadores	Superpave encima	Superpave debajo
Carac. volumétricas	% Cemento Asfáltico	disminuye	disminuye
	Peso específico de espécimen	Influye significativamente	No influye significativamente
	% Vacíos	No influye significativamente	No influye significativamente
	Vacíos Agregados Minerales	Influye significativamente	No influye significativamente
	Vacíos llenados con C. Asfáltico	No influye significativamente	No influye significativamente

Nota: elaboración propia

4.4.1.1 Peso específico

Prueba de hipótesis del peso específico de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SA.

En el marco de la evaluación de las características de las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SA, se llevó a cabo una prueba de hipótesis centrada en el peso específico. Los datos de campo para el procesamiento se muestran en la tabla 51. Se establecieron las siguientes hipótesis para el estadístico T de Student:

- Hipótesis nula (H₀): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción no influye significativamente en el peso específico de las mezclas asfálticas en caliente, en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción influye significativamente en el peso específico de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Tabla 51

Datos de campo del peso específico de MAC-01 y SA

n	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	2.306	2.333	0.00001	0.00009
2	2.315	2.325	0.00004	0.00000
3	2.306	2.313	0.00001	0.00011
Σ(sumatoria)	6.927	6.971	0.00005	0.00020
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	2.309	2.324	...	...

Nota: elaboración propia

Se fijó un nivel de confianza del 90%, lo que se traduce en un valor crítico de t para dos colas ($\alpha/2$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se detallan en la tabla 52 y en la figura 57.

Tabla 52

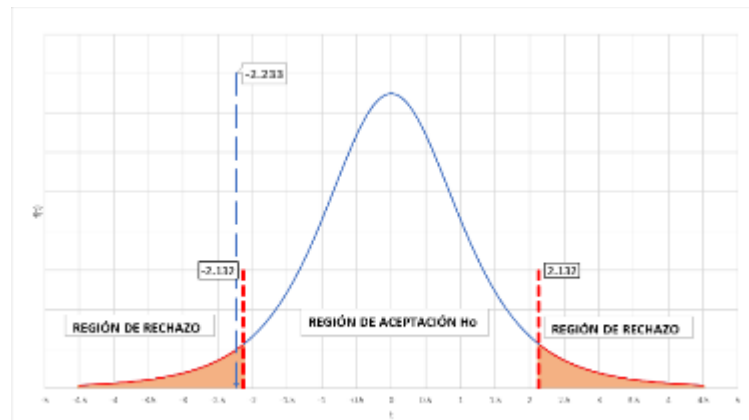
T student de peso específico para MAC-01 y SA

<i>Cálculos</i>	<i>Referencia</i>	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	2.309	2.324
S - varianza	(7)	0.0000264	0.0001042
Sc - varianza común	(8)	0.0000653	
T - estadístico de prueba	(9)	-2.233	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.132	

Nota: elaboración propia

Figura 57

Curva normal de T student para los valores del peso específico para SA



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión:

La comparación de los estadísticos de prueba con el valor crítico revela que $|T|=2.233$ es mayor que $t_{\alpha/2}=2.132$. Bajo estas condiciones, se rechaza la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción influye significativamente en el peso específico de las mezclas asfálticas en caliente a comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Estos resultados respaldan la idea de que la adopción de Superpave SA con un 5.5% de asfalto impacta de manera significativa en el peso específico de las mezclas asfálticas.

Prueba de hipótesis del peso específico de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SB

En la evaluación del peso específico de las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SB, se llevó a cabo una prueba de hipótesis centrándose en el estadístico T de Student. Los datos de campo para el procesamiento se muestran en la tabla 53. Las hipótesis formuladas fueron:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción no influye significativamente en el peso específico de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción influye significativamente en el peso específico de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Tabla 53

Datos de campo del peso específico de MAC-01 y SB

n	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	2.306	2.302	0.00001	0.00001
2	2.315	2.3	0.00004	0.00003
3	2.306	2.314	0.00001	0.00008
Σ(sumatoria)	6.927	6.916	0.00005	0.00011
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	2.309	2.305	...	...

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se estableció un valor crítico de t para dos colas ($\alpha/2$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 54 que se visualizan en la figura 58.

Tabla 54

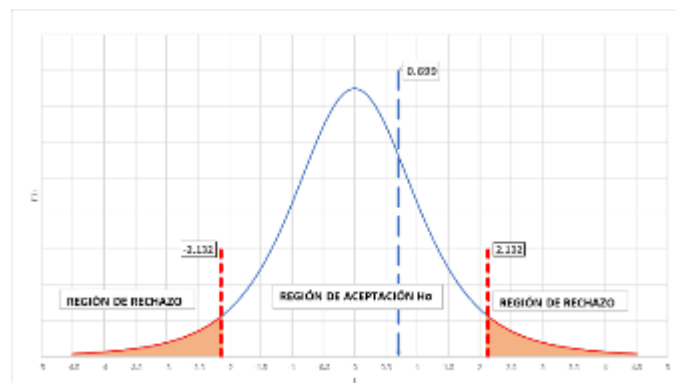
T student de peso específico para MAC-01 y SB

Cálculos	Referencia	MAC-1 (6%)	SB(5.2%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	2.309	2.305
S - varianza	(7)	0.0000264	0.0000572
Sc - varianza común	(8)	0.0000418	
T - estadístico de prueba	(9)	0.699	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.132	

Nota: elaboración propia

Figura 58

Curva normal de T student para los valores del peso específico para SB



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=0.699$ es menor que $\alpha/2=2.132$. Bajo estas condiciones, no



hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción, en comparación con la granulometría patrón MAC-01, no influye significativamente en el peso específico de las mezclas asfálticas en caliente.

Estos resultados sugieren que, al adoptar Superpave SB con un 5.2% de asfalto, no se observan diferencias significativas en el peso específico en comparación con la mezcla convencional MAC-01.

4.4.1.2 Porcentaje de vacíos

Prueba de hipótesis del porcentaje de vacíos de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SA

En el análisis del porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SA, se llevó a cabo una prueba de hipótesis utilizando el estadístico T de Student. Los datos de campo para el procesamiento se muestran en la tabla 55. Las hipótesis formuladas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción no influye significativamente en el porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas en caliente, en comparación con la granulometría patrón MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción influye significativamente en el porcentaje de

vacíos de las mezclas asfálticas en caliente, en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Tabla 55

Datos de campo del % de vacíos de MAC-01 y SA

n	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	3.914	3.189	0.01323	0.53339
2	3.15	3.943	0.42120	0.00056
3	4.333	4.626	0.28516	0.49938
Σ(sumatoria)	11.397	11.758	0.720	1.033
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	3.799	3.919	...	...

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se fijó un valor crítico de t para dos colas ($t_{\alpha/2}$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 56 y se visualizan en la figura 59.

Tabla 56

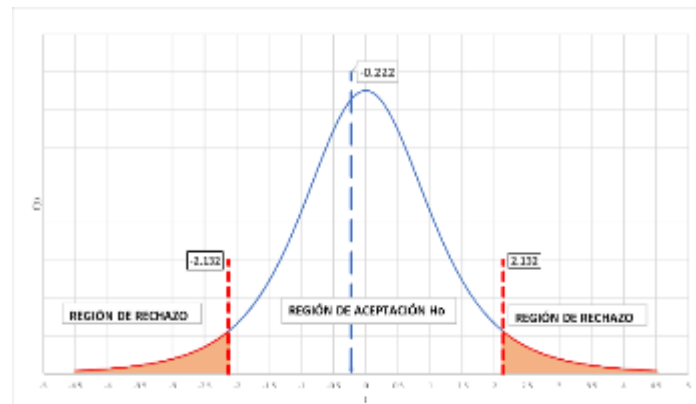
T student del porcentaje de vacíos para MAC-01 y SA

Cálculos	Referencia	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	3.799	3.919
S - varianza	(7)	0.3595421	0.5169329
Sc - varianza común	(8)	0.4382375	
T - estadístico de prueba	(9)	-0.222	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.1318	

Nota: elaboración propia

Figura 59

Curva normal de T student para los valores del % de vacíos para SA



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=0.222$ es menor que $t_{\alpha/2}=2.132$. Bajo estas condiciones, no se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción, en comparación con la granulometría patrón MAC-01, no influye significativamente en el porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas en caliente.

Estos resultados sugieren que, al adoptar Superpave SA con un 5.5% de asfalto, no se observan diferencias significativas en el porcentaje de vacíos en comparación con la mezcla convencional MAC-01.

Prueba de hipótesis del porcentaje de vacíos de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SB

En el análisis del porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SB, se llevó a cabo una prueba de hipótesis

utilizando el estadístico T de Student. Los datos de campo para el procesamiento se muestran en la tabla 57. Las hipótesis formuladas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción no influye significativamente en el porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas en caliente, en comparación con la granulometría patrón MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción influye significativamente en el porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas en caliente, en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Tabla 57

Datos de campo del % de vacíos de MAC-01 y SB

n	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	3.914	4.483	0.01323	0.17865
2	3.15	4.103	0.42120	0.00182
3	4.333	3.595	0.28516	0.21654
Σ(sumatoria)	11.397	12.181	0.71958	0.39700
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	3.799	4.060		

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se fijó un valor crítico de t para dos colas ($\alpha/2$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 58 y se representan en la figura 60.

Tabla 58

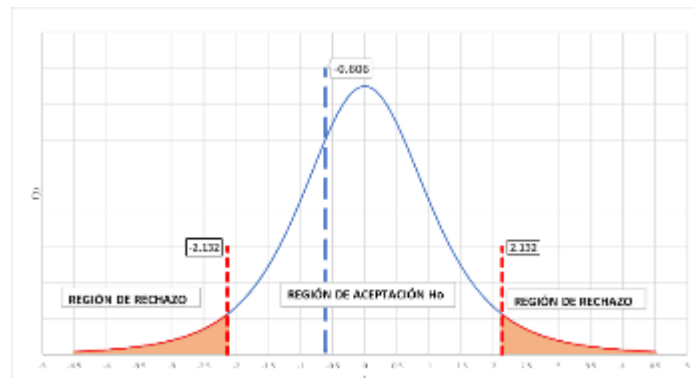
T student del porcentaje de vacíos para MAC-01 y SB

Cálculos	Referencia	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	3.799	4.060
S - varianza	(7)	0.3595421	0.1985873
Sc - varianza común	(8)	0.2790647	
T - estadístico de prueba	(9)	-0.606	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.1318	

Nota: elaboración propia

Figura 60

Curva normal de T student para los valores del % de vacíos para SB



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=0.606$ es menor que $t_{\alpha/2}=2.132$. Bajo estas condiciones, no se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción, en comparación con la granulometría patrón



MAC-01, no influye significativamente en el porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas en caliente.

Estos resultados respaldan la viabilidad del uso de Superpave SB con un 5.2% de asfalto, ya que no se observan diferencias significativas en el porcentaje de vacíos en comparación con la mezcla convencional MAC-01.

4.4.1.3 Porcentaje de vacíos en agregados minerales

Prueba de hipótesis del porcentaje VMA de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SA

Para evaluar el porcentaje de VMA en las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SA, se llevó a cabo una prueba de hipótesis utilizando el estadístico T de Student. Los datos de campo para el procesamiento se muestran en la tabla 59. Las hipótesis formuladas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción no influye significativamente en el porcentaje VMA de las mezclas asfálticas en caliente, en comparación con la granulometría patrón MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción influye significativamente en el porcentaje VMA de las mezclas asfálticas en caliente, en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Tabla 59

Datos de campo del % de VMA de MAC-01 y SA

n	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	13.315	12.307	0.0105	0.1310
2	12.99	12.629	0.0496	0.0016
3	13.333	13.071	0.0145	0.1616
Σ(sumatoria)	39.638	38.007	0.0745	0.2943
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	13.213	12.669		

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se estableció un valor crítico de t para dos colas ($t_{\alpha/2}$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 60 y se grafican en la figura 61.

Tabla 60

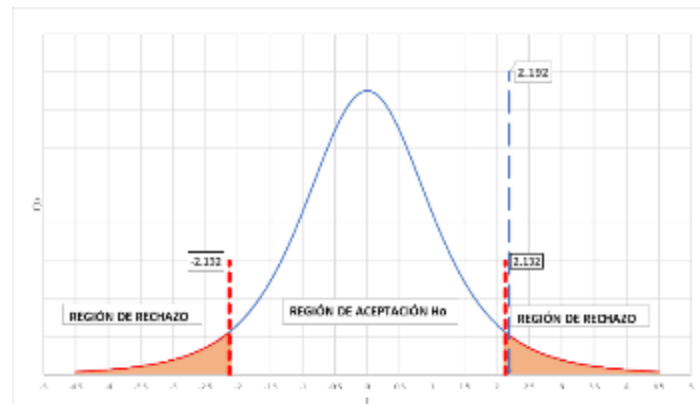
T student del porcentaje VMA para MAC-01 y SA

Cálculos	Referencia	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	13.213	12.669
S - varianza	(7)	0.0372800	0.1472356
Sc - varianza común	(8)	0.0922578	
T - estadístico de prueba	(9)	2.192	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.1318	

Nota: elaboración propia

Figura 61

Curva normal de T student para los valores del porcentaje VMA para SA



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=2.192$ es mayor que $t_{\alpha/2}=2.132$. Bajo estas condiciones, se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción, en comparación con la granulometría patrón MAC-01, influye significativamente en el porcentaje VMA de las mezclas asfálticas en caliente.

Estos resultados sugieren que la adopción de Superpave SA con un 5.5% de asfalto tiene un impacto significativo en el VMA de las mezclas, lo cual puede ser relevante para el diseño y la calidad de los pavimentos asfálticos.

*Prueba de hipótesis del porcentaje VMA de la muestra patrón
MAC-01 y Superpave tipo SB*

Se llevó a cabo una prueba de hipótesis para evaluar el porcentaje de VMA en las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SB. Los datos de campo para el procesamiento se muestran en la tabla 61. Las hipótesis formuladas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción no influye significativamente en el porcentaje VMA de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción influye significativamente en el porcentaje VMA de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Tabla 61

Datos de campo del % de VMA de MAC-01 y SB

n	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	13.315	13.608	0.01047	0.01392
2	12.99	13.696	0.04958	0.04244
3	13.333	13.166	0.01448	0.10498
Σ(sumatoria)	39.638	40.47	0.07453	0.16134
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	13.213	13.490		

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se estableció un valor crítico de t para dos colas ($\alpha/2$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 62 y se visualizan en la figura 62.

Tabla 62

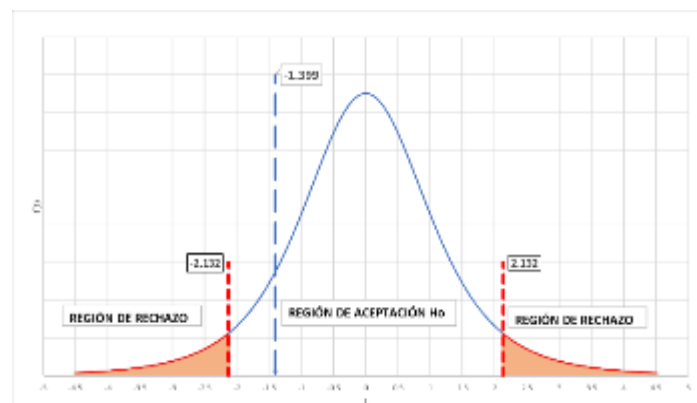
T student del porcentaje VMA para MAC-01 y SB

Cálculos	Referencia	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	13.213	13.490
S - varianza	(7)	0.0372800	0.0805542
Sc - varianza común	(8)	0.0589171	
T - estadístico de prueba	(9)	-1.399	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.1318	

Nota: elaboración propia

Figura 62

Curva normal de T student para los valores del porcentaje VMA para SB.



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=1.399$ es menor que $\alpha/2=2.132$. Bajo estas condiciones, no



se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción en comparación con la granulometría patrón MAC-01 no influye significativamente en el porcentaje VMA de las mezclas asfálticas en caliente.

Estos resultados sugieren que la adopción de Superpave SB con un 5.2% de asfalto no tiene un impacto significativo en el VMA de las mezclas, al menos en el nivel de confianza y las condiciones de la prueba.

4.4.1.4 Porcentaje de vacíos cubiertos con asfalto

Prueba de hipótesis del porcentaje VFA de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SA

Se realizó una prueba de hipótesis para evaluar el porcentaje de VFA en las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SA. Los datos de campo para el procesamiento se muestran en la tabla 63. Las hipótesis formuladas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción no influye significativamente en el porcentaje VFA de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción influye significativamente en el porcentaje VFA de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Tabla 63

Datos de campo del % de VFA de MAC-01 y SA

n	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	70.61	74.09	0.45788	24.30490
2	75.75	68.78	19.92134	0.14440
3	67.5	64.61	14.33884	20.70250
Σ(sumatoria)	213.86	207.48	34.71807	45.15180
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	71.287	69.160		

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se estableció un valor crítico de t para dos colas ($t_{\alpha/2}$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 64 y se visualizan en la figura 63.

Tabla 64

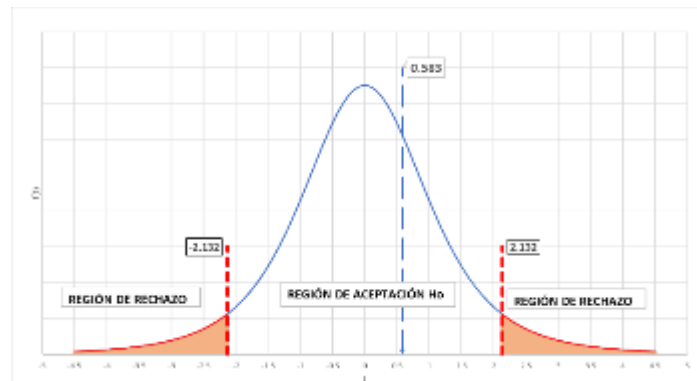
T student del porcentaje VFA para MAC-01 y SA

Cálculos	Referencia	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	71.287	69.160
S - varianza	(7)	17.3590333	22.5759000
Sc - varianza común	(8)	19.9674667	
T - estadístico de prueba	(9)	0.583	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.1318	

Nota: elaboración propia

Figura 63

Curva normal de T student para los valores del porcentaje VFA para SA



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=0.583$ es menor que $t_{\alpha/2}=2.132$. Bajo estas condiciones, no se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción en comparación con la granulometría patrón MAC-01 no influye significativamente en el porcentaje VFA de las mezclas asfálticas en caliente.

Estos resultados sugieren que la adopción de Superpave SA con un 5.5% de asfalto no tiene un impacto significativo en el VFA de las mezclas, al menos en el nivel de confianza y las condiciones de la prueba.

Prueba de hipótesis del porcentaje VFA de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SB

Se llevó a cabo una prueba de hipótesis para evaluar el porcentaje de VFA en las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SB. Los datos de

campo para el procesamiento se muestran en la tabla 65. Las hipótesis formuladas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción no influye significativamente en el porcentaje VFA de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción influye significativamente en el porcentaje VFA de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Tabla 65

Datos de campo del % de VFA de MAC-01 y SB

n	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	70.61	67.06	0.458	8.256
2	75.75	70.04	19.921	0.011
3	67.5	72.7	14.339	7.654
Σ(sumatoria)	213.86	209.8	34.718	15.922
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	71.287	69.933	...	...

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se estableció un valor crítico de t para dos colas ($t_{\alpha/2}$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 66 y se visualizan en la figura 64.

Tabla 66

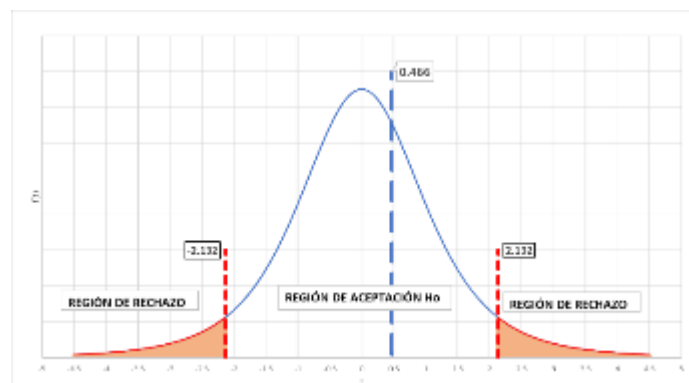
T student del porcentaje VFA para MAC-01 y SB

Cálculos	Referencia	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	71.287	69.933
S - varianza	(7)	17.3590333	7.9609333
Sc - varianza común	(8)	12.6599833	
T - estadístico de prueba	(9)	0.466	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.1318	

Nota: elaboración propia

Figura 64

Curva normal de T student para los valores del porcentaje VFA para SB



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=0.466$ es menor que $t_{\alpha/2}=2.132$. Bajo estas condiciones, no se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción en comparación con la granulometría patrón MAC-01 no influye significativamente en el porcentaje VFA de las mezclas asfálticas en caliente.

Estos resultados sugieren que la adopción de Superpave SB con un 5.2% de asfalto no tiene un impacto significativo en el VFA de las mezclas, al menos en el nivel de confianza y las condiciones de la prueba.

4.4.2 Prueba de hipótesis – H2

Con el objetivo de evaluar la hipótesis específica 02, que postula que "El uso de la granulometría Superpave mejora las características mecánicas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno", se llevó a cabo un contraste mediante la prueba T de Student de los indicadores asociados a dichas características mecánicas. Los resultados estadísticos obtenidos para estos indicadores permitieron determinar el respaldo a la premisa de la H2. Los resultados de este contraste se presentan detalladamente en la tabla 67 .

Tabla 67

Indicadores de la hipótesis específica 2

Dim.	Indicadores	Superpave encima	Superpave debajo
Carac. mecánicas	Estabilidad	Influye significativamente	Influye significativamente
	Flujo	Influye significativamente	Influye significativamente

Nota: elaboración propia

4.4.2.1 Estabilidad

Prueba de hipótesis de la estabilidad de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SA

Se realizó una prueba de hipótesis para evaluar la estabilidad en las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SA. Los datos de campo para el

procesamiento se muestran en la tabla 68. Las hipótesis formuladas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción no influye significativamente en la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción influye significativamente en la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Tabla 68

Datos de campo de la estabilidad de MAC-01 y SA

n	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	1438.611	1486.323	2755.970	186.477
2	1427.729	1473.956	1731.836	677.179
3	1292.001	1539.657	8857.194	1574.370
Σ(sumatoria)	4158.341	4499.936	13345.000	2438.027
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	1386.114	1499.979	...	...

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se estableció un valor crítico de t para dos colas ($t_{\alpha/2}$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 69 y se grafican en la figura 65.

Tabla 69

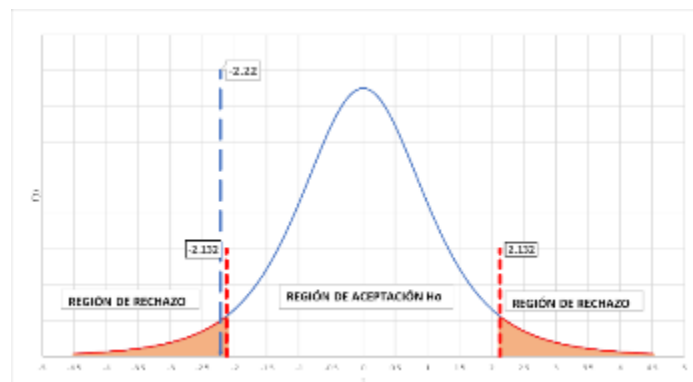
T student de la estabilidad para MAC-01 y SA

Cálculos	Referencia	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	1386.114	1499.979
S - varianza	(7)	6672.4311821	1219.0106423
Sc - varianza común	(8)	3945.7209122	
T - estadístico de prueba	(9)	-2.220	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.1318	

Nota: elaboración propia

Figura 65

Curva normal de T student para los valores de la estabilidad para SA



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=2.220$ es mayor que $t_{\alpha/2}=2.132$. Bajo estas condiciones, se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción en comparación con la granulometría patrón MAC-01 influye significativamente en la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente.

Estos resultados sugieren que la adopción de Superpave SA con un 5.5% de asfalto tiene un impacto significativo en la estabilidad de las mezclas.

Prueba de hipótesis de la estabilidad de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SB.

Se llevó a cabo una prueba de hipótesis para evaluar la estabilidad en las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SB. Los datos de campo para el procesamiento se muestran en la tabla 70. Las hipótesis formuladas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción no influye significativamente en la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción influye significativamente en la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría MAC-01.

Tabla 70

Datos de campo de la estabilidad de MAC-01 y SB

n	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	1438.611	1471.618	2755.970	3530.538
2	1427.729	1539.657	1731.836	74.316
3	1292.001	1581.834	8857.194	2580.403
Σ(sumatoria)	4158.341	4593.109	13345.000	6185.257
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	1386.114	1531.036	...	...

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se estableció un valor crítico de t para dos colas ($\alpha/2$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 71 y se representan en la figura 66 .

Tabla 71

T student de la estabilidad para MAC-01 y SB

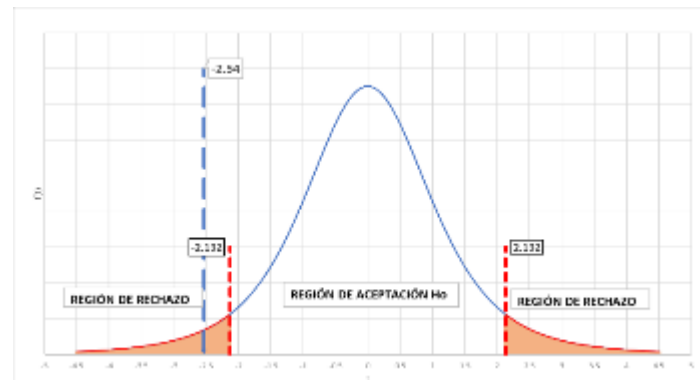
Nro. Muestra	Referencia	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	1386.114	1531.036
S - varianza	(7)	6672.4311821	3092.6387314
Sc - varianza común	(8)	4882.5349567	
T - estadístico de prueba	(9)	-2.540	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.1318	

Nota: elaboración propia

En la tabla 71 se detalla que para un nivel de confianza del 90%, el estadístico de prueba $|T|=2.540$ y el valor crítico $\alpha/2=2.132$, lo cual se representa en la figura 66.

Figura 66

Curva normal de T student para los valores de la estabilidad para SB



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=2.540$ es mayor que $t_{\alpha/2}=2.132$. Bajo estas condiciones, se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción en comparación con la granulometría patrón MAC-01 influye significativamente en la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente.

Este hallazgo destaca la importancia de considerar la granulometría Superpave SB con un 5.2% de asfalto en el diseño de mezclas asfálticas, ya que afecta de manera significativa la estabilidad.

4.4.2.2 Flujo

Prueba de hipótesis del flujo de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SA.

Se realizó una prueba de hipótesis para evaluar el flujo en las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SA. Los datos de campo para el procesamiento se muestran en la tabla 72. Las hipótesis formuladas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción no influye significativamente en el flujo de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción influye significativamente en el flujo de las

mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría MAC-01.

Tabla 72

Datos de campo del flujo de MAC-01 y SA

n	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	9.017	9.779	0.045	2.023
2	9.398	12.319	0.029	1.249
3	9.271	11.506	0.002	0.093
Σ(sumatoria)	27.686	33.604	0.075	3.365
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	9.229	11.201	...	...

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se estableció un valor crítico de t para dos colas ($t_{\alpha/2}$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 73 y se visualizan en la figura 67.

Tabla 73

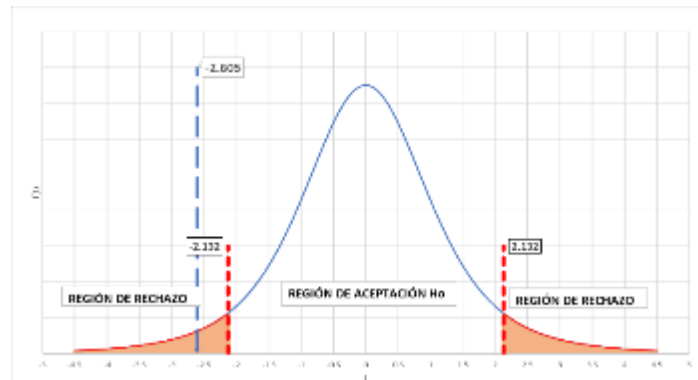
T student del flujo para MAC-01 y SA

Cálculos	Referencia	MAC-1 (6.0%)	SA (5.5%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	9.229	11.201
S - varianza	(7)	0.0376343	1.6825773
Sc - varianza común	(8)	0.8601058	
T - estadístico de prueba	(9)	-2.605	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.1318	

Nota: elaboración propia

Figura 67

Curva normal de T student para los valores del flujo para SA



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=2.605$ es mayor que $t_{\alpha/2}=2.132$. Bajo estas condiciones, se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por encima de la restricción en comparación con la granulometría patrón MAC-01 influye significativamente en el flujo de las mezclas asfálticas en caliente.

Este hallazgo destaca la importancia de considerar la granulometría Superpave SA con un 5.5% de asfalto en el diseño de mezclas asfálticas, ya que afecta de manera significativa el flujo.

Prueba de hipótesis del flujo de la muestra patrón MAC-01 y Superpave tipo SB

Se realizó una prueba de hipótesis para evaluar el flujo en las mezclas asfálticas MAC-01 y Superpave SB. Los datos de campo para el

procesamiento se muestran en la tabla 74. Las hipótesis formuladas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción no influye significativamente en el flujo de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.
- Hipótesis alternativa (H_a): El uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción influye significativamente en el flujo de las mezclas asfálticas en caliente en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

Tabla 74

Datos de campo del flujo de MAC-01 y SB

n	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_2 - \bar{X}_2)$
1	9.017	10.033	0.045	0.115
2	9.398	10.414	0.029	0.002
3	9.271	10.668	0.002	0.088
Σ(sumatoria)	27.686	31.115	0.075	0.204
Σ/n (media ó \bar{X}_n)	9.229	10.372	...	...

Nota: elaboración propia

Con un nivel de confianza del 90%, se estableció un valor crítico de t para dos colas ($t_{\alpha/2}$) de 2.132, con 4 grados de libertad. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 75 y se representan en la figura 68.

Tabla 75

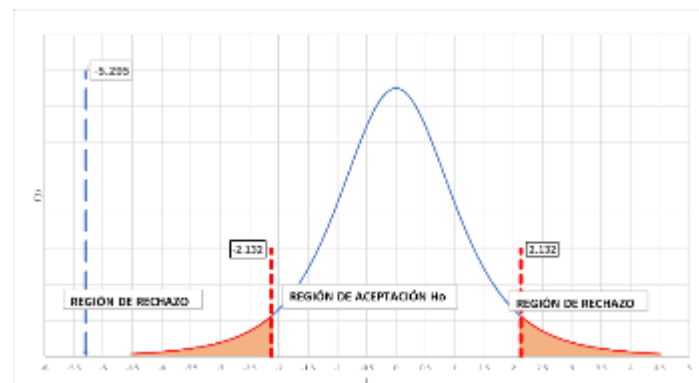
T student del flujo para MAC-01 y SB

Cálculos	Referencia	MAC-1 (6.0%)	SB (5.2%)
Nro. de datos	n	3.000	3.000
Media	$\sum \frac{X_i}{n}$	9.229	10.372
S - varianza	(7)	0.0376343	0.1021503
Sc - varianza común	(8)	0.0698923	
T - estadístico de prueba	(9)	-5.295	
gl - grado de libertad	(10)	4.000	
α - probabilidad (10%)	90%	0.100	
P(T<=t) dos colas (tabla)	Anexo 7	2.1318	

Nota: elaboración propia

Figura 68

Curva normal de T student para los valores del flujo para SB



Nota: elaboración propia

Resultados y decisión

La comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico indica que $|T|=5.295$ es significativamente mayor que $\alpha/2=2.132$. Bajo estas condiciones, se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que el uso de la granulometría Superpave por debajo de la restricción en comparación con la granulometría patrón MAC-01 influye significativamente en el flujo de las mezclas asfálticas en caliente.



Este hallazgo sugiere que el diseño de mezclas asfálticas con la granulometría Superpave SB (5.2% de asfalto) tiene un impacto significativo en las propiedades de flujo de las mezclas en comparación con la granulometría patrón MAC-01.

4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Según el objetivo general de la investigación, los resultados obtenidos a través de los ensayos realizados para la elaboración de mezclas asfálticas utilizando tres propuestas granulométricas indican de manera evidente que la aplicación de la granulometría Superpave no solo cumple, sino que también mejora las características volumétricas y mecánicas en comparación con las mezclas convencionales. En contraste, la mezcla asfáltica que emplea la granulometría MAC-01 muestra valores que se ajustan a los parámetros establecidos en la metodología Marshall. Tras un análisis exhaustivo, se llega a la conclusión de que el uso de la granulometría Superpave ejerce una influencia positiva, exhibiendo valores dentro de los límites permitidos según el EG-2013 del MTC.

4.5.1 Discusión del objetivo específico 1

Al analizar las características volumétricas, se evidencia que un elevado porcentaje de vacíos en el diseño de mezclas asfálticas puede impactar negativamente en los porcentajes de VMA y VFA, según la indicación de Delgado et al. (2006). Esta situación podría resultar en una carpeta asfáltica permeable, propensa al paso de agua y aire, lo que podría ocasionar un endurecimiento prematuro del ligante asfáltico, volviendo la carpeta frágil y propensa al desprendimiento de agregados debido a la falta de adhesión. Este fenómeno está directamente relacionado con la ubicación de la curva granulométrica con respecto a la línea de máximas densidades. Lo que se representa en la figura 31.

La comparación de las características volumétricas obtenidas en la investigación realizada revela variaciones significativas en relación con los antecedentes de Tafur (2014) y Aguilar (2019). En el análisis del contenido de asfalto (%CA), se observa que la investigación presenta un contenido superior en MAC-01, mientras que muestra ligeras diferencias, aunque en general inferior, en SA y SB en comparación con los antecedentes. El peso específico, por otro lado, muestra consistencia en MAC-01, pero se evidencian variaciones leves en SA y SB. La comparación se muestra en la tabla 76.

Tabla 76

Comparación de características volumétricas con los antecedentes

Autores	Presente investigación			Tafur, 2014		Aguilar, 2019	
Tipo	MAC-01	SA	SB	MAC-2	SUP - SA	MAC-01	SUP - SB
%CA	6	5.5	5.2	6	5.5	4.7	4.39
P.e.	2.31	2.32	2.32	2.5	2.5	2.38	2.38
% Vacíos	3.8	3.92	4.06	3.7	3.3	3.99	3.99
% VMA	13.21	12.7	13.49	14.9	14.4	14.55	14
% VFA	71.29	69.16	69.93	75	82	72.25	71.48

Nota: elaboración propia

En cuanto al contenido de asfalto, se observa que en las mezclas modificadas con granulometría Superpave, tanto por encima como por debajo de la restricción, el contenido de asfalto es menor en comparación con la mezcla patrón. La ubicación de la curva granulométrica influye en el contenido óptimo de asfalto, siendo necesario un mayor contenido para mezclas cuyas curvas se alejan más de la línea de máxima densidad. Los resultados obtenidos concuerdan con estudios previos (Aguilar, 2019; Tafur, 2014), donde se evidencia que las mezclas modificadas presentan una diferencia mínima de contenido óptimo de asfalto en comparación con la mezcla patrón.



El peso específico de las mezclas se relaciona directamente con el contenido de asfalto, aumentando a medida que el porcentaje de asfalto incrementa. En comparación con estudios anteriores (Aguilar, 2019; Tafur, 2014), los pesos específicos de las mezclas modificadas no presentan diferencias significativas respecto a la mezcla patrón, indicando que la elección del contenido de asfalto óptimo no afecta considerablemente los pesos específicos de las mezclas.

El porcentaje de vacíos en las mezclas no presenta diferencias significativas entre las mezclas modificadas y la mezcla patrón. La ubicación de la curva granulométrica con respecto a la línea de máxima densidad afecta el porcentaje de vacíos, alejándose del 4% recomendado para 75 golpes. Los resultados coinciden con la literatura y con estudios previos, donde las mezclas con granulometría Superpave cumplen con los parámetros de vacíos establecidos.

El porcentaje de VMA y VFA en las mezclas modificadas con granulometría Superpave es menor en comparación con la mezcla patrón, siendo consistente con investigaciones previas. Este menor porcentaje se asocia con una mejora en el contenido de asfalto y un cumplimiento de los parámetros establecidos en normativas, demostrando que las mezclas con granulometría Superpave son más eficientes y presentan propiedades volumétricas mejoradas en comparación con la mezcla patrón. Las diferencias en los resultados entre estudios pueden deberse a la variación en las especificaciones de las mezclas y los tipos de asfalto utilizados.

En resumen, los resultados de la investigación respaldan la hipótesis de que el uso de granulometría Superpave mejora las características volumétricas del



diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente en el centro poblado Alto Puno. La comparación con investigaciones anteriores refuerza la eficacia y consistencia de las mejoras observadas en las características de las mezclas asfálticas modificadas con granulometría Superpave.

4.5.2 Discusión del objetivo específico 2.

En el marco del objetivo específico de analizar las características mecánicas, se evaluaron el flujo y la estabilidad de la mezcla patrón MAC-1, la mezcla modificada SA y la mezcla modificada SB, cuyos resultados se detallan en la tabla 49. Se observó una diferencia significativa en el flujo de las mezclas modificadas en comparación con la mezcla patrón, como se ilustra en la figura 37. Asimismo, los valores de estabilidad presentaron variaciones en las mezclas modificadas en comparación con la mezcla patrón, como se evidencia en la figura 38.

En el análisis de la estabilidad (Estb.), los resultados de la presente investigación destacan que las mezclas con SA y SB exhiben valores significativamente superiores en comparación con mezclas tipo MAC-01, superando incluso a MAC-2 de Tafur y MAC-01 de Aguilar. Este hallazgo enfatiza de manera notable que la incorporación de la granulometría Superpave, se traduce en un aumento considerable de la estabilidad. Este aspecto adquiere una importancia fundamental al considerar la capacidad de resistir las tensiones provocadas por el tráfico vehicular.

En cuanto al flujo, se registra un aumento notorio en las mezclas con granulometría Superpave (SA y SB) en la presente investigación en comparación con MAC-01, respaldando la hipótesis específica de mejora en las características

mecánicas. Esta mejora en la fluidez de las mezclas podría indicar una mayor trabajabilidad y capacidad para resistir deformaciones permanentes bajo cargas repetidas (Lavin, 2003).

Al contrastar estos resultados con los estudios de Tafur (2014) y Aguilar (2019), quienes analizaron mezclas modificadas con granulometría Superpave con respecto a mezclas patrón tipo MAC-02 y MAC-01, respectivamente, se observaron diferencias significativas en la relación de estabilidad/flujo. Tafur encontró una divergencia de 11.00 en esta relación, mientras que Aguilar identificó una diferencia de 113.00. La comparación se muestra en la tabla 77 .

Tabla 77

Comparación de flujo con los antecedentes

Autores	Presente investigación			Tafur, 2014		Aguilar, 2019	
Tipo	MAC-01	SA	SB	MAC-2	SUP - SA	MAC-01	SUP - SB
%CA	6.00	5.50	5.20	6.00	5.50	4.70	4.39
Flujo	9.23	11.20	10.37	8.46	9.78	11.31	10.25
Estb.	1386.11	1499.98	1521.06	1059.00	1360.00	1142.86	992.14
E/F	3816.96	3301.68	3724.73	3310.00	3299.00	2670.00	2557.00

Nota: elaboración propia

En términos generales, las briquetas con granulometría Superpave (SA y SB) exhibieron una mayor estabilidad en comparación con las briquetas con granulometría Marshall (MAC-01). Según Garnica (2005), esto sugiere que las briquetas con granulometría Superpave poseen mayor resistencia a las cargas y mantienen su forma y lisura bajo cargas repetidas, lo que implica una mayor resistencia al ahuellamiento. En consecuencia, las mezclas modificadas con granulometría Superpave (SA y SB) presentaron mejoras en sus características mecánicas en comparación con la mezcla patrón, ya que la relación de



estabilidad/flujo se situó por debajo de la relación ideal de 2850.00 de E/F (1700-4000).

En conjunto, los resultados sugieren que la granulometría Superpave, utilizada en la presente investigación, contribuye a mejoras notables en las características mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, respaldando la hipótesis específica planteada. Estas mejoras son consistentes con las tendencias observadas en estudios anteriores, subrayando la importancia de considerar la granulometría Superpave en el diseño de mezclas asfálticas para lograr un comportamiento mecánico superior.



V. CONCLUSIONES

- Se diseñaron tres mezclas asfálticas en caliente con TMN de $\frac{3}{4}$ " (19 mm), la primera con granulometría MAC-01 (muestra patrón), la segunda con granulometría Superpave por encima de la restricción (SA), y la tercera con granulometría Superpave por debajo de la restricción (SB); los niveles óptimos de asfalto se establecieron en 6.0% para MAC-01, 5.5% para SA y 5.2% para SB. Los resultados de esta investigación demuestran que la implementación de la granulometría Superpave, tanto por encima como por debajo de la restricción, conlleva una mejora en las características funcionales de las mezclas asfálticas en caliente diseñadas para el centro poblado Alto Puno en Puno. Las mezclas con granulometría Superpave exhiben mayor densidad, menor permeabilidad y una resistencia significativamente mejorada a las cargas vehiculares en comparación con la mezcla patrón MAC-01.
- En el análisis de las características volumétricas, se destaca que las mezclas asfálticas con granulometría Superpave (SA y SB) exhiben una mayor compacidad, evidenciada por el aumento en el peso específico y equilibrio de los porcentajes de vacíos en comparación con la mezcla patrón MAC-01. Con valores de peso específico de 2.32 (SA) y 2.31 (SB), junto con porcentajes de vacíos de 3.92% (SA) y 4.06% (SB), estas mezclas indican una optimización en el uso del asfalto y presentan menor permeabilidad. Además, los porcentajes de VMA y VFA para las mezclas con granulometría Superpave mejoran con respecto a los de tipo MAC-01, respaldando la mejora en las características volumétricas de las mezclas con el uso de granulometría Superpave.
- Los resultados de estabilidad y flujo revelan que las mezclas asfálticas Superpave (SA y SB) superan significativamente a la mezcla tipo MAC-01. Con valores de



estabilidad de 1499.98 kgf para SA y 1521.06 kgf para SB, en comparación con los 1386.11 kgf de MAC-01, se evidencia una mayor resistencia a las cargas y una mayor rigidez en las mezclas Superpave. Estas propiedades, junto con la notable resistencia al ahuellamiento y el cumplimiento de los parámetros de diseño, indican una mejora en las características mecánicas de las mezclas con granulometría Superpave frente a las elaboradas con granulometría Marshall.



VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar proyectos de investigación para analizar la influencia del uso granulométrico Superpave TMN (19mm) que atraviesa la restricción granulométrica, para aclarar el panorama del uso de la granulometría Superpave en mezclas asfálticas en caliente, metodología Marshall.
- Se aconseja realizar investigaciones con respecto al uso de granulometría Superpave con un TMN ½" (12.7mm), en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, metodología Marshall. De la misma forma realizar investigaciones con respecto al uso de granulometría Superpave para tránsitos medios y tránsitos livianos.
- Se recomienda la evaluación del uso y la influencia de la mineralogía de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, para tener una zonificación de las diferentes canteras existentes en la región Puno.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, N. (2021). *Influencia de la forma de los agregados en la estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica empleando el equipo Marshall*. Universidad Nacional de Colombia.
- Aguilar, D. (2019). *Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y Superpave*. Univesidad Nacional de San Agustín.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación* (EPISTEME (ed.); 6ta ed., Issue July 2012).
- ASTM. (1998). D 2216 - 98 Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. *ASTM International, January*, 1–5. www.astm.org
- ASTM. (2015). *D 6927 Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures*. 1–3. <https://doi.org/10.1520/D6927-15.2>
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación* (PEARSON (ed.); 3ra ed.).
- Boza, D., & Ríos, M. (2022). *Análisis de la granulometría de los agregados de la cantera El Pedregal y su influencia en las mezclas asfálticas en caliente en la ciudad de Abancay, 2019*. Universidad Tecnológica de los Andes.
- Conde, C. S., & Palomino, R. V. (2022). *Incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos* [Universidad Ricardo Palma]. <http://www.nber.org/papers/w16019>
- Delgado, H. (2022). *Diseño de mezcla asfálticas densas en caliente en función del nivel*



- de tránsito. *Instituto Mexicano Del Transporte*, 602, 64.
- Delgado, H., Garnica, P., & Sandoval, C. (2005). Análisis comparativo de los métodos de Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas. *Secretaría De Comunicaciones Y Transportes*, 271, 1–62.
- Delgado, H., Garnica, P., Villatoro, G., & Rodríguez, G. (2006). Influencia de la granulometría en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica. *Instituto Mexicano Del Transporte*, 299, 112.
- Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J., Romero, S., & Alarcón, H. (2004). Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. *Secretaría de Comunicaciones y Transportes*, 246, 1–53.
- Garnica, P., Flores, M., Delgado, H., & Gómez, J. (2005). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. *Secretaría De Comunicaciones Y Transportes*, 267, 1–105.
- Hadi, A. (2015). Asphalt mix design methods. *The Asphalt Institute*, 7, 1–50.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (I. E. McGRAW - HILL (ed.); 6ta ed.).
- Istupe, J. (2017). Influencia de la granulometría en las características volumétricas del diseño en mezclas asfálticas. In *Emecanica.Ingenieria.Usac.Edu.Gt*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Lavin, P. G. (2003). *Asphalt pavements* (S. Press (ed.); Vol. 01).
- Marin, C., & Guzman, M. (2003). *Comparación de las mezclas diseñadas por el método Marshall y las diseñadas por el método Superpave*. Universidad del Cauca.
- Menéndez, J. (2016). *Ingeniería de Pavimentos - Materiales* (CGI (ed.); 5ta ed.).



- Minaya, S., & Ordóñez, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos* (U. N. de Ingeniería (ed.); 2da ed.).
- Montejo, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras. In Universidad Católica de Colombia (Ed.), *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* (2da ed., Vol. 7, Issue 1).
- MTC. (2013). *Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción*.
- Ñahui, S., & Sedano, J. A. (2018). *Estudio de la calidad de los agregados de la cantera e Ocopa para la elaboración de la mezcla asfáltica para pavimento flexible en el distrito de Lircay-Angaraes-Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Parra, L., & Pedroza, J. (2015). *Estudio sobre el efecto de la granulometría en la resistencia la ahuellamiento de mezclas asfálticas*. <https://doi.org/2145-9282>
- Pimienta, J., & Hoz, A. (2012). *Metodología de la investigación* (PEARSON (ed.); 1er ed.).
- Pineda, E., & Hernández, C. (2014). *Comparación de diseños de mezclas asfálticas empleando el método Marshall y el compactador giratorio Superpave*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Reyes, O., & Camacho, J. (2008). Influencia de la granulometría en la resistencia al ahuellamiento de mezclas asfálticas. *Ingeniería y Desarrollo*, 23, 1–17.
- Rodríguez, L. (2007). *Probabilidad Y Estadística Basica Para Ingenieros* (ESPOL (ed.)).
- Rondon, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos: materiales, construccion y diseño* (pp. 1–573). Macro.
https://www.researchgate.net/publication/299484649_Pavimentos_Materiales_con



struccion_y_diseno

Scaramutti, N., & Vásquez, P. (2020). *Influencia de la variabilidad de la granulometría del agregado en la deformación permanente de micropavimentos para el proyecto de conservación vial complementario Huancavelica tramo V: Acobamba-Puente Alcomachay*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Sequeira, W., Elizondo, F., & Sibaja, D. (2007). *Influencia de la granulometría en la volumetría de las mezclas SMA*. 01(506), 1–23.

Speight, J. G. (2016). *Asphalt Materials Science and Technology* (el Sevier).

Tafur, D. J. (2014). *Evaluación de la influencia de la granulometría en el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente* [Universidad Nacional de Cajamarca].
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/505>



ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica del cemento asfáltico PEN 120-150.



INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 120/150 PEN) N° GDCN-LAB-1977-2022

FECHA DE REPORTE: 26.09.2022	FECHA DE RECEPCIÓN 23.09.2022	CÓDIGO DE MUESTRA : 16239
HORA DE RECEPCIÓN: 03:43 HORAS	PROCEDENCIA: JEFATURA OPERACIONES	BUQUE/TANQUE: -----
TANQUE DE MUESTREO : 47	VOLUMEN DE PRODUCTO: MB -----	DESTINO: PLANTA CONCHÁN

ENSAYOS	MÉTODO ASTM ^(A)	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIONES	
			MIN.	MAX.
PENETRACIÓN:				
a 25°C, 100 gr, 5 seg., 1/10 mm	D5/D5M-20	123	120	150
DUCTILIDAD:				
a 25°C, 5 cm/min, cm	D113-17	>150	100	
FLUIDEZ:				
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt	D2170/D2170M-18	1872	Reportar	
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D2170/D2170M-18	252.0	140	
SOLUBILIDAD:				
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	D 2042-20	99.7	99	
VOLATILIDAD:				
Punto de Inflamación, C.O.C., °C	D92-18	270	218	
DENSIDAD:				
Gravedad API a 60°F, °API	D 70-18a	7.9	Reportar	
Gravedad Específica a 60/60°F	D 70-18a	1.015	Reportar	
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA:				
Punto de Ablandamiento, °C	D36-14e1	43.0	Reportar	
Indice de Penetración		-0.8	-1	1
Efecto de Calor y Aire (Pellcula Fina):	D1754-09(2014)			
- Pérdida por calentamiento, % masa		0.20		1.3
- Penetración Retenida, % del Original	D5/D5M-20	62	42	
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D113-17	>150	100	

OBSERVACIONES:

- Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada.
- La muestra fue proporcionada por el cliente.
La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre 131 y 147°C
Se adjunta Carta Viscosidad - Temperatura.
- (A): American Society for Testing and Materials

ORIGINAL : CLIENTE	ELABORADO POR:	APROBADO POR:
COPIA 1 : ARCHIVO GENERAL DE INFORMES DE ENSAYO	 LUCERO MUÑOZ VILLANUEVA FICHA: 57864	 MARIBEL VALDEZ ENRIQUEZ FICHA Nº 57535 CIP Nº 148797
COPIA 2: INFORME DE ENSAYO DE PRODUCTOS		



ANEXO 2: Certificado de calibración de prensa Marshall.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LF-125-2022

Laboratorio de Fuerza

Pág. 1 de 8

Expediente	20453	
Solicitante	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO	
Dirección	AV. EL SOL NRO.329 BARRIO BELLAVISTA PUNO-PUNO-PUNO	
Instrumento de Medición	Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión	
Equipo Calibrado	PRENSA MARSHALL	
Alcance de Indicación	10 000 Lbf	
Marca (o Fabricante)	ELE INTERNATIONAL	
Modelo	45-6829/06	
Número de Serie	H060601	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	USA	
Indicador de Lectura	Dial Analógico de anillo	
Marca (o Fabricante)	ELE INTERNATIONAL	
Modelo	88-4020	
Número de Serie	060960741	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	USA	
Alcance de Indicación	0.2 "	
Resolución	0.0001 "	
Transductor de Fuerza	Anillo	
Alcance de Indicación	10000 Lbf	
Marca (o Fabricante)	ELE INTERNATIONAL	
Modelo	PR-60	
Número de Serie	060400000025	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	USA	
Fecha de Calibración	2022-11-04	
Ubic. Del Equipo	LABORATORIO DE PAVIMENTOS	
Lugar de Calibración	AV. JORGE BASADRE 640 – PUNO	
Sello	Fecha de emisión	Jefe del laboratorio de calibración

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.

Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.



2022-11-08

CEM INDUSTRIAL

Jesús Quinto C.
JESÚS QUINTO C.
JEFE DE LABORATORIO

Método de Calibración

La calibración se realizó tomando como referencia el método descrito en la norma ISO 7500-1 / ISO 376 , Verificación de Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos, Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión Verificación y Calibración del Sistema de Medición de Fuerza.

Trazabilidad

Se utilizaron patrones calibrados con trazabilidad al SI, calibrado por la Universidad Católica del Perú y con N.º certificado **INF-LE N° 011-22 (B)**

Resultados de medición

Lectura de la máquina (Fi)		Lectura del patrón			Promedio	Cálculo de errores		Incertidumbre
		Primera	Segunda	Tercera		Err:540	Err:540	
%	Unidades	kgf	kgf	kgf	kgf	Err:540	Err:540	U(%)
10	100	332,3	331,7	329,2	331,1	-0,5	0,9	0,8
20	200	658,3	659,6	652,8	656,9	0,3	1,0	0,7
30	300	999,0	999,1	992,1	996,7	-0,8	0,7	0,5
40	400	1333,7	1333,0	1326,6	1331,1	-1,0	0,5	0,4
50	500	1665,0	1665,2	1658,3	1662,8	-0,9	0,4	0,4
60	600	1993,2	1991,5	1986,2	1990,3	-0,7	0,4	0,3
70	700	2319,6	2320,3	2314,1	2318,0	-0,5	0,3	0,3
80	800	2646,3	2645,6	2640,8	2644,2	-0,3	0,2	0,3
90	900	2972,3	2974,2	2968,9	2971,8	-0,2	0,2	0,3
100	1000	3289,2	3295,2	3290,3	3291,6	0,1	0,2	0,3
Lectura máquina en cero		0	0	0	-----	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

Temperatura promedio durante los ensayos 16,8 °C, Variación de temperatura en cada ensayo < 2 °C

Evaluación de los resultados

De los resultados obtenidos durante la calibración se ha obtenido la siguiente ecuación cuadrática:

$$Y = A * X^2 + B * X + C$$

Donde:

Y = Indicación del equipo en kgf;

X= Lectura directa del Equipo, valores del dial.

Los coeficientes obtenidos son:

A = -0,000079

B= 3,3819222

C= -10,328888

Observaciones

· Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.

· La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 para una distribución normal de aproximadamente 95 %.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en diferentes unidades de medición.

ANEXO 3: Matriz de consistencia.

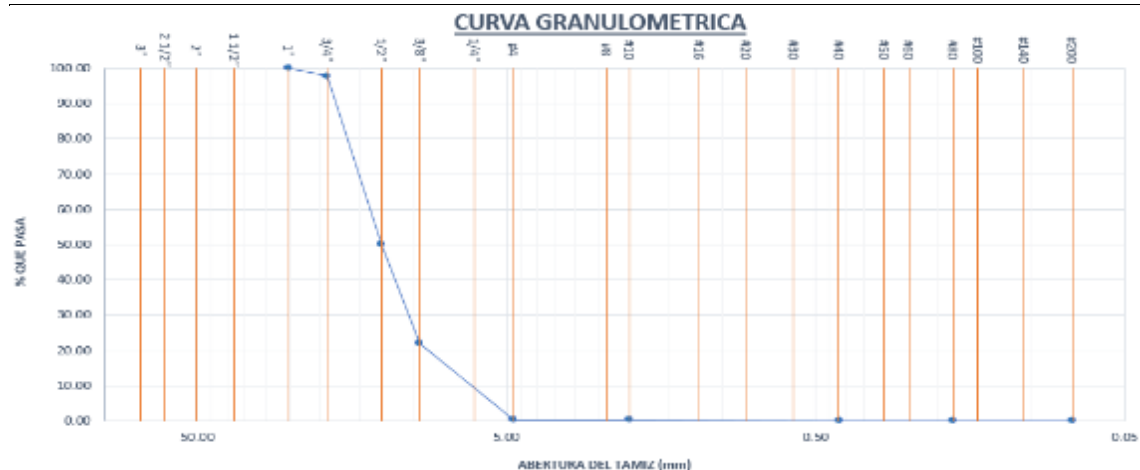
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR
¿Cuál es la Influencia del uso de granulometría Superpave en las características funcionales del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno?	Evaluar la Influencia del uso de granulometría Superpave en las características funcionales del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno	El uso de la granulometría Superpave mejora las características funcionales del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno	Granulometría Superpave	Franja granulométrica Superpave en MAC	gradacion de agregados
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECÍFICO	HIPOTESIS ESPECIFICA			
¿De qué manera influye el uso de la granulometría Superpave en las características volumétricas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno?	Evaluar la Influencia del uso de la granulometría Superpave en las características volumétricas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno	El uso de la granulometría Superpave mejora las características volumétricas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno	Caraterísticas funcionales de las MAC	Caraterísticas volumétricas	-Contenido de asfalto -%vacíos -Peso específico -Vacíos en el agregado mineral -Vacíos llenos con asfalto
¿De qué manera influye el uso de la granulometría Superpave en las características mecánicas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno?	Determinar la Influencia del uso de granulometría Superpave en las características mecánicas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno	El uso de la granulometría Superpave mejora las características mecánicas del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente, Puno, centro poblado Alto Puno		Características mecánicas	Estabilidad y flujo

ANEXO 4: Granulometría para la mezcla patrón tipo MAC-01 y para las mezclas modificadas tipo SA y SB.

- Datos de granulometría de piedra chancada para MAC-01.

Abertura del tamiz ASTM	Peso	Retenido	Retenido	% que
pulg	mm	retenido (gr)	parcial	pasa
1"	25.40			100.00
3/4"	19.00	86.93	2.17%	97.83
1/2"	12.70	1914.54	47.86%	49.96
3/8"	9.52	1128.14	28.20%	21.76
1/4"	6.35			78.24%
#04	4.75	855.35	21.38%	99.62%
#8	2.36			99.62%
#10	2.00	6.99	0.17%	99.80%
#16	1.19			99.80%
#20	0.85	0.18		99.80%
#30	0.60			99.80%
#40	0.42	7.62	0.19%	99.99%
#50	0.30			99.99%
#60	0.25	0.14	0.00%	100.00%
#80	0.18			
#100	0.15			
#140	0.11			
#200	0.07			
PASANTE		0.11		

PESO TOTAL = 4000 gr

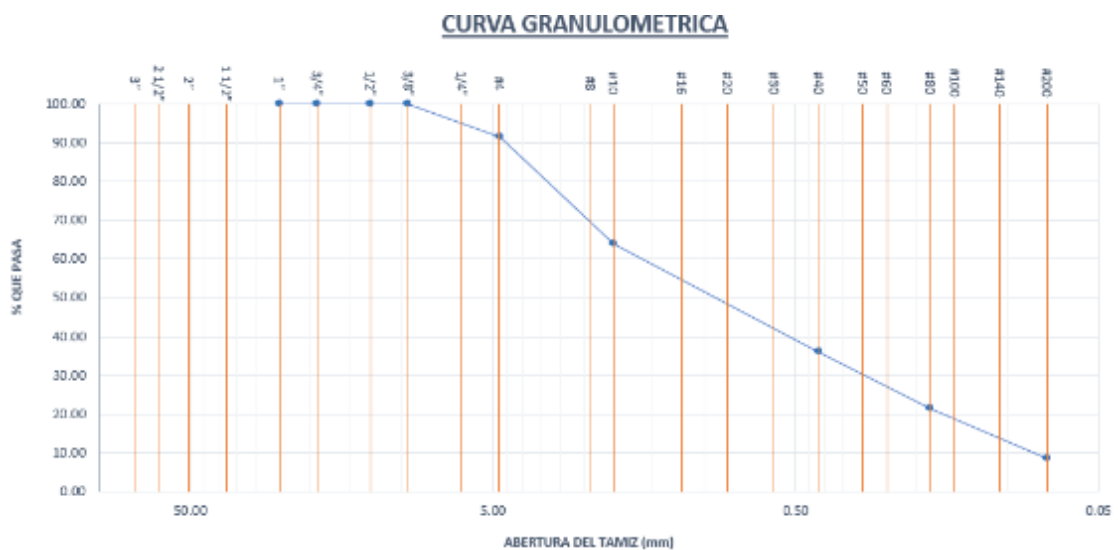




- Datos de granulometría de piedra chancada fina para MAC-01.

Abertura del tamiz ASTM	Peso	Retenido	Retenido	% que	
pulg	mm	retenido (gr)	parcial	pasa	
1"	25.40				
3/4"	19.00				
1/2"	12.70				
3/8"	9.52				
1/4"	6.35			100.00	
#04	4.75	128.87	8.59%	8.59%	91.41
#8	2.36			8.59%	91.41
#10	2.00	411.47	27.43%	36.02%	63.98
#16	1.19			36.02%	63.98
#20	0.85	259.85	17.32%	53.35%	46.65
#30	0.60			53.35%	46.65
#40	0.42	158.50	10.57%	63.91%	36.09
#50	0.30			63.91%	36.09
#60	0.25	136.31	9.09%	73.00%	27.00
#80	0.18	84.90	5.66%	78.66%	21.34
#100	0.15	59.95	4.00%	82.66%	17.34
#140	0.11			82.66%	17.34
#200	0.07	132.75	8.85%	91.51%	8.49
>200		127.39	8.49%	100.00%	0.00

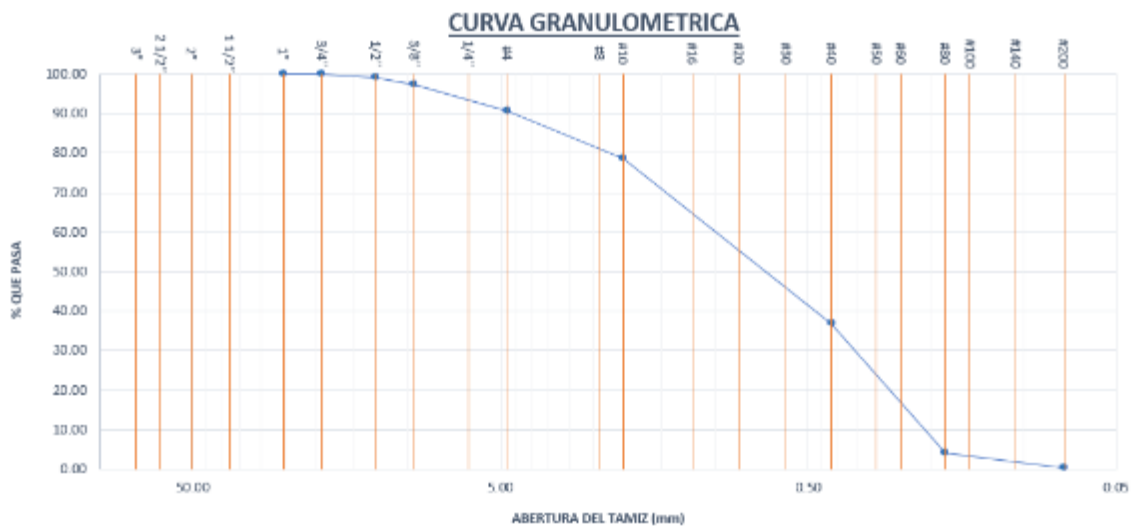
PESO TOTAL= 1500 gr



- Datos de granulometría de arena zarandeada para MAC-01.

Abertura del tamiz ASTM pulg	Peso mm retenido (gr)	Retenido parcial	Retenido acumulado	% que pasa
1"	25.40			
3/4"	19.00			100.00
1/2"	12.70	14.07	0.94%	99.06
3/8"	9.52	24.41	1.63%	97.44
1/4"	6.35		2.57%	97.44
#04	4.75	103.22	6.88%	90.55
#8	2.36		9.45%	90.55
#10	2.00	179.66	11.98%	78.58
#16	1.19		21.42%	78.58
#20	0.85	238.95	15.93%	62.65
#30	0.60		37.35%	62.65
#40	0.42	386.81	25.79%	36.86
#50	0.30		63.14%	36.86
#60	0.25	367.31	24.49%	12.37
#80	0.18	124.65	8.31%	4.06
#100	0.15	39.39	2.63%	1.44
#140	0.11		98.56%	1.44
#200	0.07	18.89	1.26%	0.18
>200		2.67	0.18%	0.00

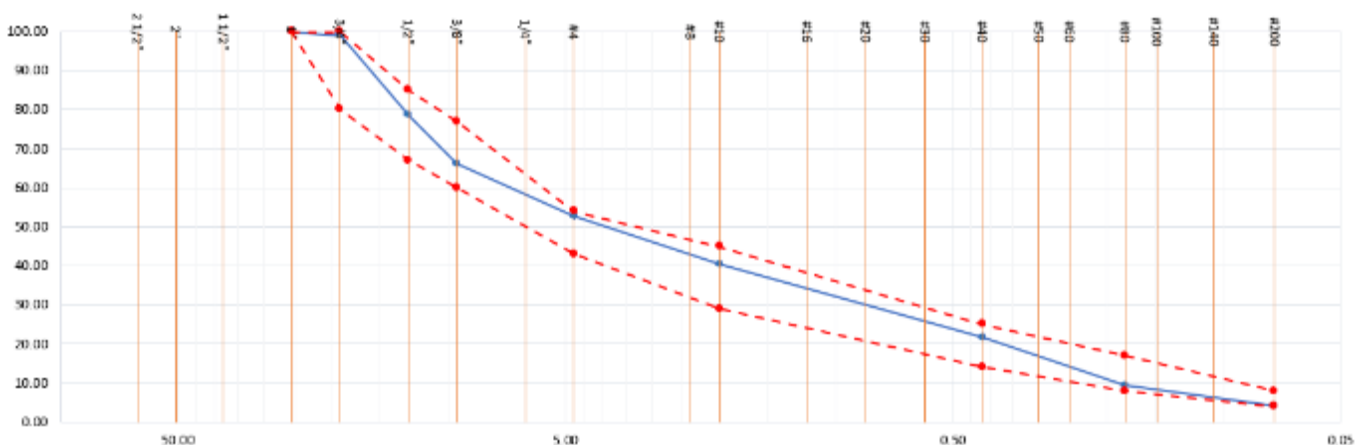
PESO TOTAL= 1500 gr



- Datos de granulometría de combinación de agregados MAC-01.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO									
ENSAYO DE LABORATORIO GRANULOMETRIA POR TAMIZADO - COMBINACION DE AGREGADOS									
ABERTURA DEL TAMIZ		% QUE PASA DE PIEDRA CHANCADA	% QUE PASA DE ARENA CHANCADA	% QUE PASA DE ARENA NATURAL	% QUE PASA DE FILLER	MEZCLA QUE PASA %	BASE DE GRADACION		DESCRIPCION
pulg	mm								
FACTOR DE COMBINACION		42.50%	35.00%	21.40%	1.10%	1			
4"	127.00					0.00			1. Peso de Material
3 1/2"	101.60					0.00			Peso Inicial Total (kg) 393
3"	73.00					0.00			
2 1/2"	60.30					0.00			
2"	50.80					0.00			2. Características
1 1/2"	37.50	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00			
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100	100	Grava (%) 47.37%
3/4"	19.00	97.83	100.00	100.00	100.00	99.08	80	100	Arena (%) 52.63%
1/2"	12.70	49.96	100.00	99.06	100.00	78.53	67	85	
3/8"	9.52	21.76	100.00	97.44	100.00	66.20	60	77	
1/4"	6.35	21.76	100.00	97.44	100.00	66.20			
#04	4.75	0.38	91.41	90.55	100.00	52.63	43	54	3. Observaciones (Fuente de Normalización)
#8	2.36	0.38	91.41	90.55	100.00	52.63			Manual de carreteras "Especificaciones Técnicas
#10	2.00	0.20	63.98	78.58	100.00	40.39	29	45	Generales para Construcción" (EG-2013)
#16	1.19	0.20	63.98	78.58	100.00	40.39			
#20	0.85	0.20	46.65	62.65	100.00	30.92			
#30	0.60	0.20	46.65	62.65	100.00	30.92			
#40	0.42	0.01	36.09	36.86	100.00	21.62	14	25	
#50	0.30	0.01	36.09	36.86	100.00	21.62		37	
#60	0.25	0.00	27.00	12.37	100.00	13.20			
#80	0.18	0.00	21.34	4.06	99.60	9.44	8	17	
#100	0.15	0.00	17.34	1.44	99.10	7.47			
#140	0.11	0.00	17.34	1.44	99.10	7.47			
#200	0.07	0.00	8.49	0.18	98.70	4.10	4	8	
PASANTE		0.00	0.00	0.00		0.00			
392.8846932									
TOTAL									

CURVA GRANULOMÉTRICA

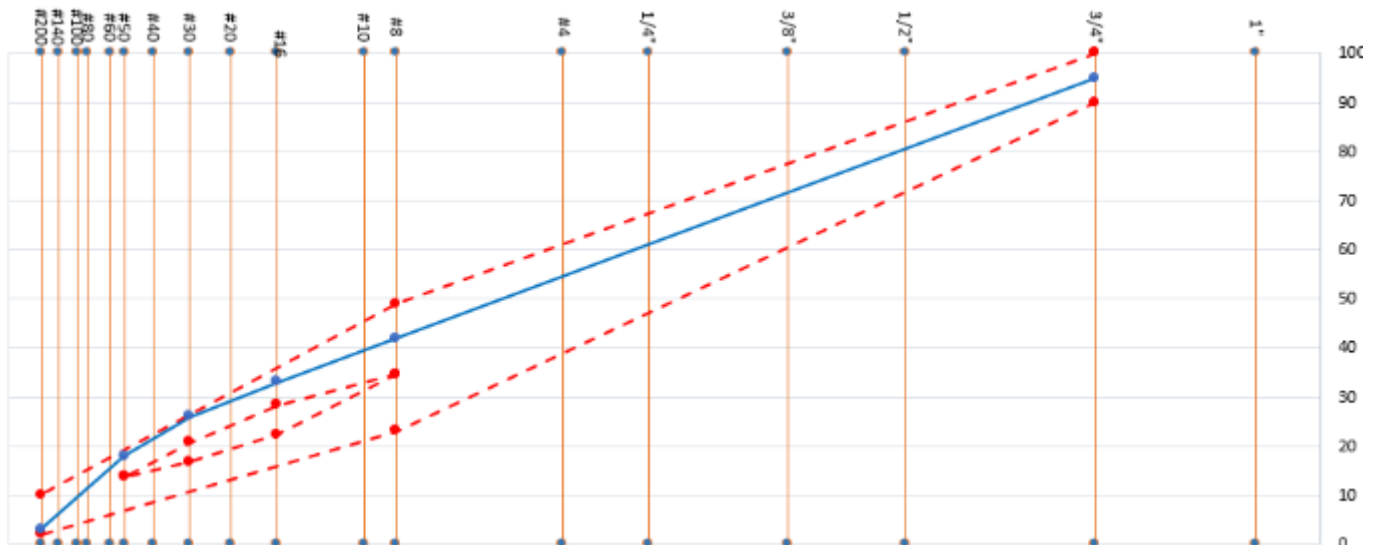




- Datos de granulometría de Superpave SA.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO											
ENSAYO DE LABORATORIO GRANULOMETRIA POR TAMIZADO - COMBINACION DE AGREGADOS											
ABERTURA DEL TAMIZ		Diámetro (mm) 0.45	Peso retenido (gr)	retenido parcial(gr)	% retenido acumulado	porcentaje que pasa QUE PASA %	BASE DE GRADACION				DESCRIPCION
pulg	mm						EXTERNA	RESTRICCION	EXTERNA	RESTRICCION	
4"	127.00	8.85									1. Peso de Material
3 1/2"	101.60	8.00									Peso Inicial Total (kg) 1,200
3"	73.00	6.89									
2 1/2"	60.30	6.33									
2"	50.80	5.86									2. Caracteristicas
1 1/2"	37.50	5.11									
1"	25.40	4.29				100.00	100.00	100.00			Grava (%) 42.00%
3/4"	19.00	3.76	60.00	5.00%	5.00%	95.00	90.00	100.00			Arena (%) 58.00 %
1/2"	12.70	3.14	120.00	10.00%	15.00%	85.00					Finos (%) 3.00 %
3/8"	9.52	2.76	120.00	10.00%	25.00%	75.00					
1/4"	6.35	2.30		0.00%	25.00%	75.00					
#04	4.75	2.02	204.00	17.00%	42.00%	58.00					
#8	2.36	1.47	192.00	16.00%	58.00%	42.00	23.00	49.00	34.60	34.60	
#10	2.00	1.37	36.00	3.00%	61.00%	39.00					
#16	1.19	1.08	72.00	6.00%	67.00%	33.00			22.30	28.30	
#20	0.85	0.93	36.00	3.00%	70.00%	30.00					
#30	0.60	0.79	48.00	4.00%	74.00%	26.00			16.70	20.70	
#40	0.42	0.68	48.00	4.00%	78.00%	22.00					
#50	0.30	0.58	48.00	4.00%	82.00%	18.00			13.70	13.70	
#60	0.25	0.54	24.00	2.00%	84.00%	16.00					
#80	0.18	0.46	36.00	3.00%	87.00%	13.00					
#100	0.15	0.43	24.00	2.00%	89.00%	11.00					
#140	0.11	0.36		0.00%	89.00%	11.00					
#200	0.07	0.31	96.00	8.00%	97.00%	3.00	2.00	8.00			
PASANTE			36.00	3.00%	100.00%	0.00					
			1200								
			TOTAL								

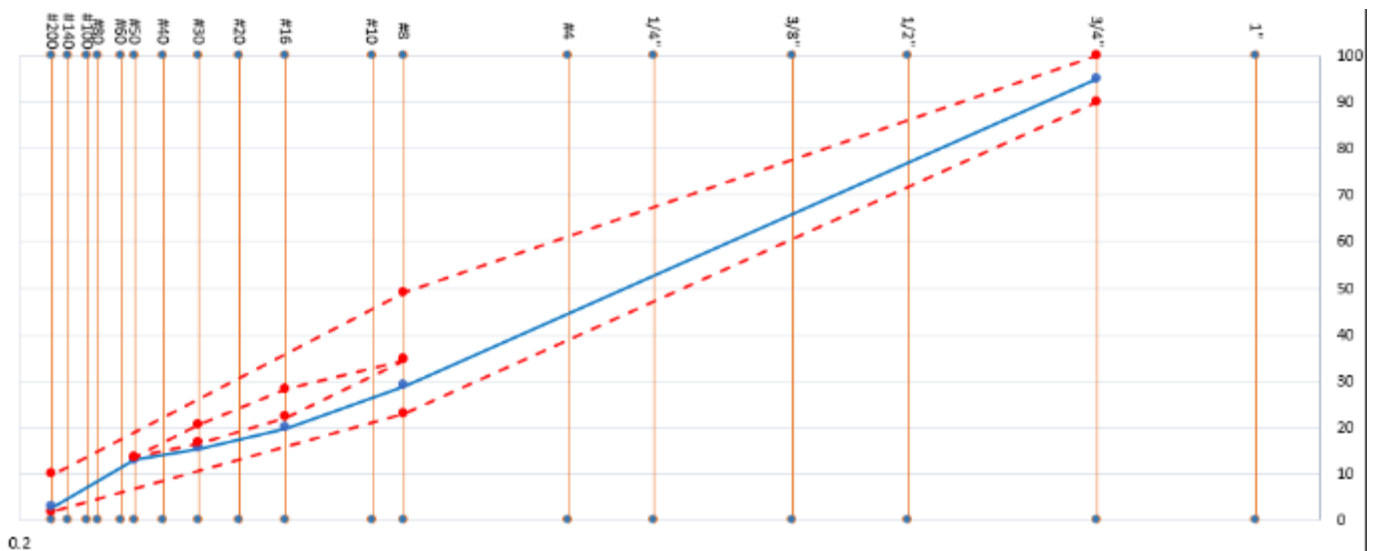
CURVA GRANULOMÉTRICA



- Datos de granulometría de Superpave SB.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO												
ENSAYO DE LABORATORIO GRANULOMETRIA POR TAMIZADO - COMBINACION DE AGREGADOS												
ABERTURA DEL TAMIZ		Diámetro (mm) 0.45	Peso retenido (gr)	retenido parcial(gr)	% retenido acumulado	porcentaje que pasa QUE PASA %	BASE DE GRADACION				DESCRIPCION	
pulg	mm						EXTERNA	RESTRICCION	EXTERNA	RESTRICCION		
4"	127.00	8.85										1. Peso de Material
3 1/2"	101.60	8.00										Peso Inicial Total (kg)
3"	73.00	6.89										1,200
2 1/2"	60.30	6.33										
2"	50.80	5.86										2. Caracteristicas
1 1/2"	37.50	5.11										
1"	25.40	4.29				100.00	100.00	100.00				Grava (%)
3/4"	19.00	3.76	60.00	5.00%	5.00%	95.00	90.00	100.00				Arena (%)
1/2"	12.70	3.14	120.00	10.00%	15.00%	85.00						Finos (%)
3/8"	9.52	2.76	120.00	10.00%	25.00%	75.00						
1/4"	6.35	2.30		0.00%	25.00%	75.00						
#04	4.75	2.02	240.00	20.00%	45.00%	55.00						
#8	2.36	1.47	312.00	26.00%	71.00%	29.00	23.00	49.00	34.60	34.60		
#10	2.00	1.37	36.00	3.00%	74.00%	26.00						
#16	1.19	1.08	72.00	6.00%	80.00%	20.00			22.30	28.30		
#20	0.85	0.93	24.00	2.00%	82.00%	18.00						
#30	0.60	0.79	30.00	2.50%	84.50%	15.50			16.70	20.70		
#40	0.42	0.68	24.00	2.00%	86.50%	13.50						
#50	0.30	0.58	6.00	0.50%	87.00%	13.00			13.70	13.70		
#60	0.25	0.54	6.00	0.50%	87.50%	12.50						
#80	0.18	0.46	30.00	2.50%	90.00%	10.00						
#100	0.15	0.43	18.00	1.50%	91.50%	8.50						
#140	0.11	0.36		0.00%	91.50%	8.50						
#200	0.07	0.31	66.00	5.50%	97.00%	3.00	2.00	8.00				
PASANTE			36.00	3.00%	100.00%	0.00						
1200												
TOTAL												

CURVA GRANULOMÉTRICA




ANEXO 5: Diseño de mezclas asfálticas en caliente (mezclas patrón tipo MAC-01 y mezclas modificadas tipo SA y SB).


- Diseño de mezcla asfáltica en caliente con granulometría MAC-01.

	FORMATO		Código															
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15		Versión	01														
			Fecha	30-01-2023														
			Página	2 de 13														
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL. PUNO. CENTRO POBLADO ALTO PUNO		TIPO:	MAC-01														
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco		REALIZADO POR :	Bach. Brayan														
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno		FECHA DE ENSAYO :	30/02/2023														
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504																		
PORCENTAJES DE DISEÑO																		
Agregado grueso	52.6%																	
Agregado fino	47.4%																	
Σ Suma	100.0%																	
C.A. (PEN)	120 - 150																	
		<table border="1"><thead><tr><th>Lectura dial</th><th>Lectura calibración</th><th>Flujo</th></tr></thead><tbody><tr><td>474</td><td>1574.95</td><td>520</td></tr><tr><td>472</td><td>1568.34</td><td>525</td></tr><tr><td>465</td><td>1545.18</td><td>550</td></tr></tbody></table>	Lectura dial	Lectura calibración	Flujo	474	1574.95	520	472	1568.34	525	465	1545.18	550				
Lectura dial	Lectura calibración	Flujo																
474	1574.95	520																
472	1568.34	525																
465	1545.18	550																
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio												
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	4.00	4.00	4.00														
2 % de agregado grueso	%	50.52	50.52	50.52														
3 % de agregado fino	%	45.48	45.48	45.48														
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015														
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.488	2.488	2.488														
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.514	2.514	2.514														
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	68.90	68.70	68.80		68.80												
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1235.0	1233.0	1233.0														
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1240.0	1238.0	1238.0														
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	695.0	690.0	692.0														
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento(09-10)	c.c.	545.0	548.0	546.0		546.3												
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.260	2.244	2.252		2.252												
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.413	2.413	2.413														
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/(1/4+2/5+3/6)$	gr/cc.	2.362	2.362	2.362														
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	6.3	7.0	6.6		6.7												
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.501	2.501	2.501														
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	13.2	13.8	13.5		13.54												
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	52.2	49.5	50.9		50.9												
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado T _r $(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.560	2.560	2.560														
20 C.A. Absorvido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19)$	%	0.93	0.93	0.93														
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	3.07	3.07	3.07														
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	13.21	13.34	13.97		13.50												
23 Estabilidad sin corregir		1575	1568	1545														
24 Factor de Estabilidad		0.88	0.88	0.88														
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1383	1383	1360		1375												
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	2659	2635	2472		2587												
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75														




	FORMATO					Código																	
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15					Versión	01																
						Fecha	30-01-2023																
						Página	2 de 13																
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO					TIPO:	MAC-01																
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco					REALIZADO POR :	Bach. Brayan Parisuaña																
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno					FECHA DE ENSAYO :	30/02/2023																
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504																							
PORCENTAJES DE DISEÑO		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Lectura dial</th> <th>Lectura calibración</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>gregado grueso</td> <td>52.6%</td> <td>482</td> <td>1601.40</td> </tr> <tr> <td>Agregado fino</td> <td>47.4%</td> <td>482</td> <td>1601.40</td> </tr> <tr> <td>Σ Suma</td> <td>100.0%</td> <td>482</td> <td>1601.40</td> </tr> </tbody> </table>							Lectura dial	Lectura calibración	Flujo	gregado grueso	52.6%	482	1601.40	Agregado fino	47.4%	482	1601.40	Σ Suma	100.0%	482	1601.40
	Lectura dial	Lectura calibración	Flujo																				
gregado grueso	52.6%	482	1601.40																				
Agregado fino	47.4%	482	1601.40																				
Σ Suma	100.0%	482	1601.40																				
C.A. (PEN) 20 - 150																							
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio																	
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	4.50	4.50	4.50																			
2 % de agregado grueso	%	50.26	50.26	50.26																			
3 % de agregado fino	%	45.24	45.24	45.24																			
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015																			
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.488	2.488	2.488																			
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.514	2.514	2.514																			
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	68.65	68.85	69.05		68.85																	
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1235.00	1237.00	1233.00																			
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1240.0	1241.0	1238.0																			
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	695.0	681.0	692.0																			
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	545.0	560.0	546.0		550.3																	
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.260	2.203	2.252		2.239																	
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.365	2.365	2.365																			
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/(1/4+2/5+3/6)$	gr/cc.	2.346	2.346	2.346																			
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	4.4	6.8	4.7		5.3																	
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.501	2.501	2.501																			
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	13.7	15.9	14.0		14.51																	
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	67.7	57.0	66.0		63.6																	
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.523	2.523	2.523																			
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	0.35	0.35	0.35																			
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	4.15	4.15	4.15																			
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	14.27	14.27	14.27		14.27																	
23 Estabilidad sin corregir		1601	1601	1601																			
24 Factor de Estabilidad		0.88	0.88	0.88																			
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1414	1408	1401		1408																	
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	2516	2505	2493		2505																	
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75																			




		FORMATO				Código	
		DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15				Versión	01
						Fecha	30-01-2023
						Página	2 de 13
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO				TIPO:	MAC-01	
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco				REALIZADO POR :	Bach. Brayan Parisuaña	
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno				FECHA DE ENSAYO :	30/02/2023	
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504							
PERCENTAJES DE DISEÑO							
Agregado grueso	52.6%						
Agregado fino	47.4%						
Σ Suma	100.0%						
C.A. (PEN)	120 - 150						
		Lectura dial	Lectura calibración	Flujo			
		347	1153.69	405			
		576	1911.45	255			
		546	1812.65	355			
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio	
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	5.00	5.00	5.00			
2 % de agregado grueso	%	50.00	50.00	50.00			
3 % de agregado fino	%	45.00	45.00	45.00			
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015			
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.488	2.488	2.488			
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.514	2.514	2.514			
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	64.78	64.00	65.03		64.60	
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1169.00	1180.00	1186.00			
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1172.0	1183.0	1189.0			
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	658.0	671.0	668.0			
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	514.0	512.0	521.0		515.7	
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.268	2.299	2.270		2.279	
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.423	2.423	2.423			
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/((1/4+2/5+3/6))$	gr/cc.	2.330	2.330	2.330			
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	6.4	5.1	6.3		5.9	
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6))$	gr/cc.	2.501	2.501	2.501			
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	13.8	12.7	13.7		13.42	
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	53.9	59.6	54.2		55.9	
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.614	2.614	2.614			
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	1.75	1.75	1.75			
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	3.25	3.25	3.25			
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	10.29	6.48	9.02		8.59	
23 Estabilidad sin corregir		1154	1911	1813			
24 Factor de Estabilidad		0.97	0.99	0.96			
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1117	1888	1744		1583	
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	2758	7402	4911		4678	
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75			




	FORMATO			Código																							
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15			Versión	01																						
				Fecha	30-01-2023																						
				Página	2 de 13																						
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO			TIPO:	MAC-01																						
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco			REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña																						
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno			FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023																						
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PORCENTAJES DE DISEÑO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agregado grueso</td> <td>52.6%</td> </tr> <tr> <td>Agregado fino</td> <td>47.4%</td> </tr> <tr> <td>Σ Suma</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <td>C.A. (PEN)</td> <td>120 - 150</td> </tr> </tbody> </table>		PORCENTAJES DE DISEÑO		Agregado grueso	52.6%	Agregado fino	47.4%	Σ Suma	100.0%	C.A. (PEN)	120 - 150	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lectura dial</th> <th>Lectura calibración</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>450</td> <td>1495.54</td> <td>325</td> </tr> <tr> <td>398</td> <td>1323.16</td> <td>320</td> </tr> <tr> <td>448</td> <td>1488.92</td> <td>325</td> </tr> </tbody> </table>				Lectura dial	Lectura calibración	Flujo	450	1495.54	325	398	1323.16	320	448	1488.92	325
PORCENTAJES DE DISEÑO																											
Agregado grueso	52.6%																										
Agregado fino	47.4%																										
Σ Suma	100.0%																										
C.A. (PEN)	120 - 150																										
Lectura dial	Lectura calibración	Flujo																									
450	1495.54	325																									
398	1323.16	320																									
448	1488.92	325																									
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio																					
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	5.50	5.50	5.50																							
2 % de agregado grueso	%	49.74	49.74	49.74																							
3 % de agregado fino	%	44.76	44.76	44.76																							
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015																							
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.488	2.488	2.488																							
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.514	2.514	2.514																							
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	64.10	63.63	63.78		63.83																					
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1187.00	1179.00	1173.00																							
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1189.0	1181.0	1175.0																							
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	674.0	672.0	667.0																							
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	515.0	509.0	508.0		510.7																					
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.299	2.310	2.303		2.304																					
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.396	2.396	2.396																							
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/(1/4+2/5+3/6)$	gr/cc.	2.314	2.314	2.314																							
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	4.1	3.6	3.9		3.8																					
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.501	2.501	2.501																							
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	13.1	12.7	13.0		12.93																					
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	69.1	71.8	70.0		70.3																					
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.602	2.602	2.602																							
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	1.58	1.58	1.58																							
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	3.92	3.92	3.92																							
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	8.26	8.13	8.26		8.21																					
23 Estabilidad sin corregir		1496	1323	1489																							
24 Factor de Estabilidad		0.99	1.00	0.99																							
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1473	1319	1479		1424																					
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	4533	4122	4550		4403																					
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75																							




		FORMATO				Código	
		DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15				Versión	01
						Fecha	30-01-2023
						Página	2 de 13
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO				TIPO:	MAC-01	
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco				REALIZADO POR :	Bach. Brayan Parisuaña	
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno				FECHA DE ENSAYO :	30/02/2023	
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 54							
PROCENTAJES DE DISEÑO							
Agregado grueso	52.6%						
Agregado fino	47.4%						
Σ Suma	100.0%						
C.A. (PEN)	120 - 150						
		Lectura dial	Lectura calibración	Flujo			
		432	1435.92	355			
		425	1412.72	370			
		385	1280.00	365			
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio	
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	6.00	6.00	6.00			
2 % de agregado grueso	%	49.47	49.47	49.47			
3 % de agregado fino	%	44.53	44.53	44.53			
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015			
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.488	2.488	2.488			
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.514	2.514	2.514			
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	63.43	63.08	63.13		63.21	
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1163.00	1172.00	1172.00			
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1164.0	1173.0	1173.0			
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	661.0	668.0	666.0			
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	503.0	505.0	507.0		505.0	
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.306	2.315	2.306		2.309	
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.401	2.401	2.401			
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/((1/4+2/5+3/6))$	gr/cc.	2.299	2.299	2.299			
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	4.0	3.6	4.0		3.8	
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6))$	gr/cc.	2.501	2.501	2.501			
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	13.3	13.0	13.3		13.21	
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	70.3	72.3	70.1		70.9	
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T((2+3)/((100/13 - 1/4)))$	gr/cc.	2.630	2.630	2.630			
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	2.00	2.00	2.00			
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	4.00	4.00	4.00			
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	9.02	9.40	9.27		9.23	
23 Estabilidad sin corregir		1436	1413	1280			
24 Factor de Estabilidad		1.00	1.01	1.01			
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1439	1428	1292		1386	
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	4052	3859	3540		3815	
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75			



	FORMATO				Código																							
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15				Versión	01																						
					Fecha	30-01-2023																						
					Página	2 de 13																						
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO				TIPO:	MAC-01																						
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco				REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña																						
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno				FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023																						
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PORCENTAJES DE DISEÑO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agregado grueso</td> <td>52.6%</td> </tr> <tr> <td>Agregado fino</td> <td>47.4%</td> </tr> <tr> <td>Σ Suma</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <td>C.A. (PEN)</td> <td>20 - 150</td> </tr> </tbody> </table>		PORCENTAJES DE DISEÑO		Agregado grueso	52.6%	Agregado fino	47.4%	Σ Suma	100.0%	C.A. (PEN)	20 - 150	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lectura dial</th> <th>Lectura calibración</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>387</td> <td>1286.64</td> <td>515</td> </tr> <tr> <td>349</td> <td>1160.34</td> <td>515</td> </tr> <tr> <td>423</td> <td>1406.09</td> <td>415</td> </tr> </tbody> </table>			Lectura dial	Lectura calibración	Flujo	387	1286.64	515	349	1160.34	515	423	1406.09	415		
PORCENTAJES DE DISEÑO																												
Agregado grueso	52.6%																											
Agregado fino	47.4%																											
Σ Suma	100.0%																											
C.A. (PEN)	20 - 150																											
Lectura dial	Lectura calibración	Flujo																										
387	1286.64	515																										
349	1160.34	515																										
423	1406.09	415																										
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio																						
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	6.50	6.50	6.50																								
2 % de agregado grueso	%	49.21	49.21	49.21																								
3 % de agregado fino	%	44.29	44.29	44.29																								
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015																								
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.488	2.488	2.488																								
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.514	2.514	2.514																								
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	63.53	62.88	62.98		63.13																						
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1150.00	1163.00	1166.00																								
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1152.0	1165.0	1168.0																								
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	652.0	662.0	670.0																								
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	500.0	503.0	498.0		500.3																						
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.294	2.306	2.335		2.312																						
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.385	2.385	2.385																								
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/(1/4+2/5+3/6)$	gr/cc.	2.283	2.283	2.283																								
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	3.8	3.3	2.1		3.1																						
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.501	2.501	2.501																								
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	14.2	13.8	12.7		13.56																						
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	73.2	76.0	83.6		77.6																						
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.632	2.632	2.632																								
20 C.A. Absorvido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	2.02	2.02	2.02																								
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	4.48	4.48	4.48																								
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	13.08	13.08	10.54		12.23																						
23 Estabilidad sin corregir		1287	1160	1406																								
24 Factor de Estabilidad		1.00	1.02	1.01																								
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1286	1178	1425		1296																						
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	2497	2288	3433		2691																						
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75																								




	FORMATO			Código		
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15			Versión		
				01		
				Fecha		
				30-01-2023		
				Página		
				2 de 13		
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO			TIPO:	MAC-01	
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco			REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña	
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno			FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023	
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504						
PROCENTAJES DE DISEÑO						
Agregado grueso	52.6%					
Agregado fino	47.4%					
Σ Suma	100.0%					
C.A. (PEN)	120 - 150					
		Lectura dial	Lectura calibración	Flujo		
		328	1090.44	405		
		309	1027.14	685		
		425	1412.72	515		
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	7.00	7.00	7.00		
2 % de agregado grueso	%	48.95	48.95	48.95		
3 % de agregado fino	%	44.05	44.05	44.05		
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015		
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.488	2.488	2.488		
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.514	2.514	2.514		
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	62.03	63.38	64.50		63.30
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1145.00	1171.00	1185.00		
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1147.0	1173.0	1187.0		
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	651.0	667.0	672.0		
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	496.0	506.0	515.0		505.7
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.302	2.308	2.295		2.302
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.349	2.349	2.349		
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/((1/4+2/5+3/6))$	gr/cc.	2.268	2.268	2.268		
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	2.0	1.7	2.3		2.0
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6))$	gr/cc.	2.501	2.501	2.501		
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	14.4	14.2	14.7		14.39
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	86.3	87.8	84.4		86.2
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.606	2.606	2.606		
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	1.65	1.65	1.65		
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	5.35	5.35	5.35		
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	10.29	17.40	13.08		13.59
23 Estabilidad sin corregir		1090	1027	1413		
24 Factor de Estabilidad		1.04	1.00	0.98		
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1131	1030	1377		1179
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	2792	1504	2675		2205
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75		




- Diseño de mezclas asfálticas en caliente con granulometría tipo SA.

	FORMATO			Código		
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15			Versión	01	
				Fecha	30-01-2023	
				Página	2 de 13	
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO			TIPO:	SUP-ENCIMA	
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco			REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña	
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno			FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023	
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504						
PORCENTAJES DE DISEÑO						
Agregado grueso	42.0%					
Agregado fino	58.0%					
Σ Suma	100.0%					
C.A. (PEN)	20 - 150					
		Lectura dial	Lectura calibración	Flujo		
		545	1809.35	450		
		553	1835.72	485		
		540	1792.87	495		
Número de Probetas	Nº	1	2	3	4	Promedio
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	4.00	4.00	4.00		
2 % de agregado grueso	%	40.32	40.32	40.32		
3 % de agregado fino	%	55.68	55.68	55.68		
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015		
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.508	2.508	2.508		
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.521	2.521	2.521		
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	69.85	69.88	69.88		69.87
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1236.00	1237.00	1240.00		
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1238.0	1240.0	1242.0		
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	692.0	696.0	691.0		
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	546.0	544.0	551.0		547.0
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.258	2.268	2.245		2.257
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.400	2.400	2.400		
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/(1/4+2/5+3/6)$	gr/cc.	2.375	2.375	2.375		
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	5.9	5.5	6.5		6.0
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.516	2.516	2.516		
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	13.8	13.5	14.3		13.88
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	57.3	59.2	55.0		57.2
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T((2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.544	2.544	2.544		
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19)$	%	0.45	0.45	0.45		
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	3.55	3.55	3.55		
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	11.43	12.32	12.57		12.11
23 Estabilidad sin corregir		1809	1836	1793		
24 Factor de Estabilidad		0.86	0.86	0.86		
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1554	1576	1539		1557
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	3454	3250	3110		3266
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75		




	FORMATO						Código	
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15						Versión	
							01	
							Fecha	
						30-01-2023		
						Página		
						2 de 13		
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO						TIPO:	SUP-ENCIMA
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco						REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno						FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504								
PORCENTAJES DE DISEÑO								
Agregado grueso	42.0%							
Agregado fino	58.0%							
Σ Suma	100.0%							
C.A. (PEN)	20 - 150							
		Lectura dial	Lectura calibración	Flujo				
		577	1914.74	310				
		577	1914.74	285				
		565	1875.24	210				
Número de Probetas	Nº	1	2	3	4	Promedio		
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	4.50	4.50	4.50				
2 % de agregado grueso	%	40.11	40.11	40.11				
3 % de agregado fino	%	55.39	55.39	55.39				
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015				
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.508	2.508	2.508				
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.521	2.521	2.521				
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	64.28	65.08	64.75		64.70		
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1188.00	1190.00	1178.00				
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1189.0	1191.0	1179.0				
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	674.0	674.0	665.0				
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	515.0	517.0	514.0		515.3		
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.301	2.296	2.286		2.294		
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.440	2.440	2.440				
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/(1/4+2/5+3/6)$	gr/cc.	2.359	2.359	2.359				
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	5.7	5.9	6.3		6.0		
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.516	2.516	2.516				
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	12.7	12.9	13.2		12.91		
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	54.9	54.0	52.2		53.7		
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.613	2.613	2.613				
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	1.50	1.50	1.50				
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	3.00	3.00	3.00				
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	7.87	7.24	5.33		6.82		
23 Estabilidad sin corregir		1915	1915	1875				
24 Factor de Estabilidad		0.98	0.96	0.97				
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1878	1839	1817		1845		
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	6057	6454	8651		6874		
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75				




		FORMATO				Código	
		DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15				Versión	01
						Fecha	30-01-2023
						Página	2 de 13
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO				TIPO:	SUP-ENCIMA	
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco				REALIZADO POR :	Bach. Brayan Parisuaña	
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno				FECHA DE ENSAYO :	30/02/2023	
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504							
PORCENTAJES DE DISEÑO							
Agregado grueso	42.0%						
Agregado fino	58.0%						
Σ Suma	100.0%						
C.A. (PEN)	120 - 150						
		Lectura dial	Lectura calibración	Flujo			
		474	1574.95	285			
		465	1545.18	410			
		470	1561.72	360			
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio	
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	5.00	5.00	5.00			
2 % de agregado grueso	%	39.90	39.90	39.90			
3 % de agregado fino	%	55.10	55.10	55.10			
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015			
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.508	2.508	2.508			
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.521	2.521	2.521			
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	62.80	63.63	64.00		63.48	
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1165.00	1181.00	1182.00			
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1167.0	1182.0	1183.0			
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	665.0	671.0	672.0			
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	502.0	511.0	511.0		508.0	
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.315	2.305	2.307		2.309	
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.431	2.431	2.431			
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100 / (1/4 + 2/5 + 3/6)$	gr/cc.	2.343	2.343	2.343			
15 % de Vacíos $100 * ((13-12) / 13)$	%	4.8	5.2	5.1		5.0	
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3) / ((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.516	2.516	2.516			
17 % V.M.A. Vacíos del Agregado Mineral $100 - (2+3) * 12 / 16$	%	12.6	13.0	12.9		12.81	
18 % vacíos llenados con C.A. $100 * ((17-15) / 17)$	%	62.1	60.2	60.6		61.0	
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r((2+3) / ((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.623	2.623	2.623			
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100 * 4) * ((19-16) / (16 * 19))$	%	1.65	1.65	1.65			
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	3.35	3.35	3.35			
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	7.24	10.41	9.14		8.93	
23 Estabilidad sin corregir		1575	1545	1562			
24 Factor de Estabilidad		1.02	1.00	0.99			
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1603	1540	1542		1562	
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	5623	3757	4284		4441	
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75			




	FORMATO					Código												
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15					Versión	01											
						Fecha	30-01-2023											
						Página	2 de 13											
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO					TIPO:	SUP-ENCIMA											
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco					REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña											
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno					FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023											
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504																		
PROCENTAJES DE DISEÑO																		
Agregado grueso	42.0%																	
Agregado fino	58.0%																	
Σ Suma	100.0%																	
C.A. (PEN)	20 - 150																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lectura dial</th> <th>Lectura calibración</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>427</td> <td>1419.35</td> <td>385</td> </tr> <tr> <td>430</td> <td>1429.29</td> <td>485</td> </tr> <tr> <td>450</td> <td>1495.54</td> <td>453</td> </tr> </tbody> </table>		Lectura dial	Lectura calibración	Flujo	427	1419.35	385	430	1429.29	485	450	1495.54	453			
Lectura dial	Lectura calibración	Flujo																
427	1419.35	385																
430	1429.29	485																
450	1495.54	453																
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio												
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	5.50	5.50	5.50														
2 % de agregado grueso	%	39.69	39.69	39.69														
3 % de agregado fino	%	54.81	54.81	54.81														
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015														
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.508	2.508	2.508														
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.521	2.521	2.521														
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	63.10	63.88	63.98		63.65												
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1179.00	1177.00	1178.00														
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1180.0	1179.0	1179.0														
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	676.0	674.0	671.0														
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	504.0	505.0	508.0		505.7												
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.333	2.325	2.313		2.324												
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.418	2.418	2.418														
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100 / ((1/4 + 2/5 + 3/6))$	gr/cc.	2.327	2.327	2.327														
15 % de Vacios $100 * ((13 - 12) / 13)$	%	3.5	3.9	4.3		3.9												
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3) / ((2/5 + 3/6))$	gr/cc.	2.516	2.516	2.516														
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100 - (2+3) * 12 / 16$	%	12.4	12.7	13.1		12.72												
18 % vacios llenados con C.A. $100 * ((17 - 15) / 17)$	%	71.6	69.6	66.9		69.4												
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3) / ((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.629	2.629	2.629														
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100 * 4) * ((19 - 16) / (16 * 19))$	%	1.75	1.75	1.75														
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	3.75	3.75	3.75														
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	9.78	12.32	11.51		11.20												
23 Estabilidad sin corregir		1419	1429	1496														
24 Factor de Estabilidad		1.01	0.99	0.99														
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1434	1416	1478		1442												
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	3723	2919	3262		3271												
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75														



		FORMATO				Código	
		DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15				Versión	01
						Fecha	30-01-2023
						Página	2 de 13
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO				TIPO:	SUP-ENCIMA	
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco				REALIZADO POR :	Bach. Brayan Parisuaña	
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno				FECHA DE ENSAYO :	30/02/2023	
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504							
PROCENTAJES DE DISEÑO							
Agregado grueso	42.0%						
Agregado fino	58.0%						
Σ Suma	100.0%						
C.A. (PEN)	120 - 150						
		Lectura dial	Lectura calibración	Flujo			
		359	1193.60	425			
		406	1349.71	435			
		430	1429.29	715			
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio	
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	6.00	6.00	6.00			
2 % de agregado grueso	%	39.48	39.48	39.48			
3 % de agregado fino	%	54.52	54.52	54.52			
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015			
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.508	2.508	2.508			
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.521	2.521	2.521			
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	63.60	63.18	62.73		63.17	
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1178.00	1171.00	1175.00			
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1180.0	1172.0	1176.0			
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	676.0	669.0	673.0			
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	504.0	503.0	503.0		503.3	
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.331	2.322	2.330		2.328	
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.391	2.391	2.391			
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/(1/4+2/5+3/6)$	gr/cc.	2.311	2.311	2.311			
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	2.5	2.9	2.6		2.7	
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.516	2.516	2.516			
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	12.9	13.2	12.9		13.03	
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	80.5	78.1	80.2		79.6	
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.618	2.618	2.618			
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	1.57	1.57	1.57			
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	4.43	4.43	4.43			
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	10.80	11.05	18.16		13.34	
23 Estabilidad sin corregir		1194	1350	1429			
24 Factor de Estabilidad		1.00	1.01	1.02			
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1191	1361	1457		1336	
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	2801	3128	2038		2545	
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75			




		FORMATO		Código																									
		DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15		Versión	01																								
				Fecha	30-01-2023																								
				Página	2 de 13																								
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO			TIPO:	SUP-ENCIMA																								
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco			REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña																								
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno			FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023																								
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PORCENTAJES DE DISEÑO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agregado grueso</td> <td>42.0%</td> </tr> <tr> <td>Agregado fino</td> <td>58.0%</td> </tr> <tr> <td>Σ Suma</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <td>C.A. (PEN)</td> <td>120 - 150</td> </tr> </tbody> </table>				PORCENTAJES DE DISEÑO		Agregado grueso	42.0%	Agregado fino	58.0%	Σ Suma	100.0%	C.A. (PEN)	120 - 150	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lectura dial</th> <th>Lectura calibración</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>359</td> <td>1193.60</td> <td>425</td> </tr> <tr> <td>406</td> <td>1349.71</td> <td>435</td> </tr> <tr> <td>430</td> <td>1429.29</td> <td>715</td> </tr> </tbody> </table>				Lectura dial	Lectura calibración	Flujo	359	1193.60	425	406	1349.71	435	430	1429.29	715
PORCENTAJES DE DISEÑO																													
Agregado grueso	42.0%																												
Agregado fino	58.0%																												
Σ Suma	100.0%																												
C.A. (PEN)	120 - 150																												
Lectura dial	Lectura calibración	Flujo																											
359	1193.60	425																											
406	1349.71	435																											
430	1429.29	715																											
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio																							
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	6.50	6.50	6.50																									
2 % de agregado grueso	%	39.27	39.27	39.27																									
3 % de agregado fino	%	54.23	54.23	54.23																									
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015																									
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.508	2.508	2.508																									
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.521	2.521	2.521																									
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	63.28	63.63	63.05		63.32																							
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1174.00	1175.00	1173.00																									
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1175.0	1176.0	1173.0																									
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	673.0	670.0	669.0																									
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	502.0	506.0	504.0		504.0																							
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.333	2.316	2.321		2.323																							
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.369	2.369	2.369																									
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100 / (1/4 + 2/5 + 3/6)$	gr/cc.	2.295	2.295	2.295																									
15 % de Vacíos $100 * ((13-12)/13)$	%	1.5	2.2	2.0		1.9																							
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3) / ((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.516	2.516	2.516																									
17 % V.M.A. Vacíos del Agregado Mineral $100 - (2+3) * 12/16$	%	13.3	13.9	13.7		13.65																							
18 % vacíos llenados con C.A. $100 * ((17-15)/17)$	%	88.5	84.0	85.4		85.9																							
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3) / ((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.611	2.611	2.611																									
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100 * 4) * ((19-16) / (16 * 19))$	%	1.47	1.47	1.47																									
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	5.03	5.03	5.03																									
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	10.80	11.05	18.16		13.34																							
23 Estabilidad sin corregir		1194	1350	1429																									
24 Factor de Estabilidad		1.01	1.00	1.01																									
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1200	1345	1445		1330																							
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	2824	3093	2021		2534																							
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75																									



- Diseño de mezclas asfálticas en caliente con granulometría tipo SB.

	FORMATO			Código		
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15			Versión	01	
				Fecha	30-01-2023	
				Página	2 de 13	
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO			TIPO:	SUP-DEBAJO	
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco			REALIZADO POR :	Bach. Brayan Parisuaña	
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno			FECHA DE ENSAYO :	30/02/2023	
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504						
PERCENTAJES DE DISEÑO						
Agregado grueso	45.0%					
Agregado fino	55.0%					
Σ Suma	100.0%					
C.A. (PEN)	20 - 150					
		Lectura dial	Lectura calibración	Flujo		
		480	1594.79	470		
		495	1644.37	450		
		485	1611.32	480		
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	4.00	4.00	4.00		
2 % de agregado grueso	%	43.20	43.20	43.20		
3 % de agregado fino	%	52.80	52.80	52.80		
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015		
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.514	2.514	2.514		
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.539	2.539	2.539		
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	71.38	71.50	71.60		71.49
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1180.00	1182.00	1174.00		
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1184.0	1185.0	1179.0		
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	662.0	661.0	658.0		
11 Volumen de la briqueta por desplazamien (09-10)	c.c.	522.0	524.0	521.0		522.3
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.277	2.272	2.270		2.273
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.432	2.432	2.432		
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/(1/4+2/5+3/6)$	gr/cc.	2.386	2.386	2.386		
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	6.4	6.6	6.7		6.5
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.528	2.528	2.528		
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	13.5	13.7	13.8		13.67
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	53.0	52.2	51.8		52.3
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.582	2.582	2.582		
20 C.A. Absorvido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19)$	%	0.84	0.84	0.84		
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	3.16	3.16	3.16		
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	11.94	11.43	12.19		11.85
23 Estabilidad sin corregir		1595	1644	1611		
24 Factor de Estabilidad		0.83	0.83	0.83		
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1324	1363	1333		1340
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	2817	3028	2778		2872
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75		



	FORMATO					Código	
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15					Versión	01
						Fecha	30-01-2023
						Página	2 de 13
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO					TIPO:	SUP-DEBAJO
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco					REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno					FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504							
PROCENTAJES DE DISEÑO							
Agregado grueso	45.0%						
Agregado fino	55.0%						
Σ Suma	100.0%						
C.A. (PEN)	20 - 150						
		Lectura dial	Lectura calibración	Flujo			
		425	1412.72	450			
		470	1561.72	450			
		541	1796.17	425			
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio	
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	4.50	4.50	4.50			
2 % de agregado grueso	%	42.98	42.98	42.98			
3 % de agregado fino	%	52.53	52.53	52.53			
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015			
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.514	2.514	2.514			
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.539	2.539	2.539			
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	65.33	66.15	64.85		65.44	
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1174.00	1174.00	1182.00			
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1178.0	1179.0	1185.0			
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	664.0	662.0	665.0			
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	514.0	517.0	520.0		517.0	
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.301	2.288	2.290		2.293	
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.411	2.411	2.411			
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100 / ((1/4 + 2/5 + 3/6))$	gr/cc.	2.369	2.369	2.369			
15 % de Vacios $100 * ((13-12)/13)$	%	4.6	5.1	5.0		4.9	
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3) / ((2/5 + 3/6))$	gr/cc.	2.528	2.528	2.528			
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100 - (2+3) * 12/16$	%	13.1	13.6	13.5		13.38	
18 % vacios llenados con C.A. $100 * ((17-15)/17)$	%	65.1	62.3	62.8		63.4	
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3) / ((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.578	2.578	2.578			
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100 * 4) * ((19-16) / (16 * 19))$	%	0.78	0.78	0.78			
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	3.72	3.72	3.72			
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	11.43	11.43	10.80		11.22	
23 Estabilidad sin corregir		1413	1562	1796			
24 Factor de Estabilidad		0.96	0.94	0.97			
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1350	1469	1736		1518	
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	3001	3263	4084		3437	
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75			



	FORMATO		Código	
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15		Versión	01
			Fecha	30-01-2023
			Página	2 de 13
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO		TIPO:	SUP-DEBAJO
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco		REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno		FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023


**ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL
ASTM D6927-15 / MTC E 504**

PORCENTAJES DE DISEÑO	
Agregado grueso	45.0%
Agregado fino	55.0%
Σ Suma	100.0%
C.A. (PEN)	120 - 150


Lectura dial	Lectura calibración	Flujo
445	1478.98	380
479	1591.49	415
465	1545.18	390

Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	5.00	5.00	5.00		
2 % de agregado grueso	%	42.75	42.75	42.75		
3 % de agregado fino	%	52.25	52.25	52.25		
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015		
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.514	2.514	2.514		
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.539	2.539	2.539		
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	65.60	65.18	65.70		65.49
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1180.00	1179.00	1182.00		
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1184.0	1182.0	1185.0		
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	669.0	668.0	672.0		
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	515.0	514.0	513.0		514.0
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.308	2.311	2.321		2.313
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.406	2.406	2.406		
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/((1/4+2/5+3/6))$	gr/cc.	2.353	2.353	2.353		
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	4.0	3.9	3.5		3.8
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6))$	gr/cc.	2.528	2.528	2.528		
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	13.3	13.2	12.8		13.06
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	69.5	70.0	72.5		70.7
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.593	2.593	2.593		
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	1.00	1.00	1.00		
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	4.00	4.00	4.00		
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	9.65	10.54	9.91		10.03
23 Estabilidad sin corregir		1479	1591	1545		
24 Factor de Estabilidad		0.95	0.96	0.95		
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1406	1526	1466		1466
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	3700	3676	3759		3711
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75		



	FORMATO				Código																							
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15				Versión	01																						
					Fecha	30-01-2023																						
					Página	2 de 13																						
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO				TIPO:	SUP-DEBAJO																						
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco				REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña																						
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno				FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023																						
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PORCENTAJES DE DISEÑO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agregado grueso</td> <td>45.0%</td> </tr> <tr> <td>Agregado fino</td> <td>55.0%</td> </tr> <tr> <td>Σ Suma</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <td>C.A. (PEN)</td> <td>20 - 150</td> </tr> </tbody> </table>		PORCENTAJES DE DISEÑO		Agregado grueso	45.0%	Agregado fino	55.0%	Σ Suma	100.0%	C.A. (PEN)	20 - 150	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lectura dial</th> <th>Lectura calibración</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>480</td> <td>1594.79</td> <td>470</td> </tr> <tr> <td>470</td> <td>1561.72</td> <td>480</td> </tr> <tr> <td>460</td> <td>1528.64</td> <td>490</td> </tr> </tbody> </table>			Lectura dial	Lectura calibración	Flujo	480	1594.79	470	470	1561.72	480	460	1528.64	490		
PORCENTAJES DE DISEÑO																												
Agregado grueso	45.0%																											
Agregado fino	55.0%																											
Σ Suma	100.0%																											
C.A. (PEN)	20 - 150																											
Lectura dial	Lectura calibración	Flujo																										
480	1594.79	470																										
470	1561.72	480																										
460	1528.64	490																										
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio																						
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	5.50	5.50	5.50																								
2 % de agregado grueso	%	42.53	42.53	42.53																								
3 % de agregado fino	%	51.98	51.98	51.98																								
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015																								
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.514	2.514	2.514																								
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.539	2.539	2.539																								
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	63.83	64.93	64.65		64.47																						
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1180.00	1176.00	1176.00																								
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1181.0	1178.0	1178.0																								
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	668.0	669.0	669.0																								
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	513.0	509.0	509.0		510.3																						
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.317	2.327	2.327		2.324																						
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.418	2.418	2.418																								
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/(1/4+2/5+3/6)$	gr/cc.	2.336	2.336	2.336																								
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	4.2	3.8	3.8		3.9																						
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.528	2.528	2.528																								
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	13.4	13.0	13.0		13.12																						
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	68.8	71.1	71.1		70.3																						
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3)/((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.630	2.630	2.630																								
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	1.56	1.56	1.56																								
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	3.94	3.94	3.94																								
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	11.94	12.19	12.45		12.19																						
23 Estabilidad sin corregir		1595	1562	1529																								
24 Factor de Estabilidad		0.99	0.96	0.97																								
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1582	1506	1485		1524																						
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	3366	3138	3030		3175																						
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75																								



		FORMATO		Código																								
		DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15		Versión	01	Fecha	30-01-2023																					
				Página	2 de 13																							
TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO			TIPO:	SUP-DEBAJO																							
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco			REALIZADO POR :	Bach. Brayan Parisuaña																							
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno			FECHA DE ENSAYO :	30/02/2023																							
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927-15 / MTC E 504																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PORCENTAJES DE DISEÑO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agregado grueso</td> <td>45.0%</td> </tr> <tr> <td>Agregado fino</td> <td>55.0%</td> </tr> <tr> <td>Σ Suma</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <td>C.A. (PEN)</td> <td>20 - 150</td> </tr> </tbody> </table>				PORCENTAJES DE DISEÑO		Agregado grueso	45.0%	Agregado fino	55.0%	Σ Suma	100.0%	C.A. (PEN)	20 - 150	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lectura dial</th> <th>Lectura calibración</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>557</td> <td>1848.89</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>448</td> <td>1488.92</td> <td>445</td> </tr> <tr> <td>432</td> <td>1435.92</td> <td>450</td> </tr> </tbody> </table>			Lectura dial	Lectura calibración	Flujo	557	1848.89	400	448	1488.92	445	432	1435.92	450
PORCENTAJES DE DISEÑO																												
Agregado grueso	45.0%																											
Agregado fino	55.0%																											
Σ Suma	100.0%																											
C.A. (PEN)	20 - 150																											
Lectura dial	Lectura calibración	Flujo																										
557	1848.89	400																										
448	1488.92	445																										
432	1435.92	450																										
Número de Probetas	Nº	1	2	3	4	Promedio																						
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	6.00	6.00	6.00																								
2 % de agregado grueso	%	42.30	42.30	42.30																								
3 % de agregado fino	%	51.70	51.70	51.70																								
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015																								
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.514	2.514	2.514																								
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.539	2.539	2.539																								
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	63.05	63.98	65.65		64.23																						
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1172.00	1176.00	1194.00																								
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1173.0	1178.0	1196.0																								
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	670.0	669.0	679.0																								
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento(09-10)	c.c.	503.0	509.0	517.0		509.7																						
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.347	2.327	2.327		2.334																						
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.422	2.422	2.422																								
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100/(1/4+2/5+3/6)$	gr/cc.	2.320	2.320	2.320																								
15 % de Vacios $100*((13-12)/13)$	%	3.1	3.9	4.0		3.7																						
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3)/((2/5+3/6)$	gr/cc.	2.528	2.528	2.528																								
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100-(2+3)*12/16$	%	12.7	13.5	13.5		13.22																						
18 % vacios llenados con C.A. $100*((17-15)/17)$	%	75.6	70.9	70.7		72.4																						
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3)/((100/13 -1/4))$	gr/cc.	2.657	2.657	2.657																								
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100*4)*((19-16)/(16*19))$	%	1.96	1.96	1.96																								
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	4.04	4.04	4.04																								
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	10.16	11.30	11.43		10.96																						
23 Estabilidad sin corregir		1849	1489	1436																								
24 Factor de Estabilidad		1.01	0.99	0.95																								
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1870	1471	1364		1568																						
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	4674	3306	3030		3633																						
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75																								



	FORMATO	Código	
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15	Versión	01
		Fecha	30-01-2023
		Página	2 de 13

TESIS	: INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO	TIPO:	SUP-DEBAJO
SOLICITANTE	: Bach. Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco	REALIZADO POR	: Bach. Brayan Parisuaña
UBICACIÓN DE TESIS	: Puno	FECHA DE ENSAYO	: 30/02/2023

**ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL
ASTM D6927-15 / MTC E 504**

PORCENTAJES DE DISEÑO	
Agregado grueso	45.0%
Agregado fino	55.0%
Σ Suma	100.0%
C.A. (PEN)	120 - 150

Lectura dial	Lectura calibración	Flujo
337	1120.41	500
454	1508.78	400
383	1273.36	450

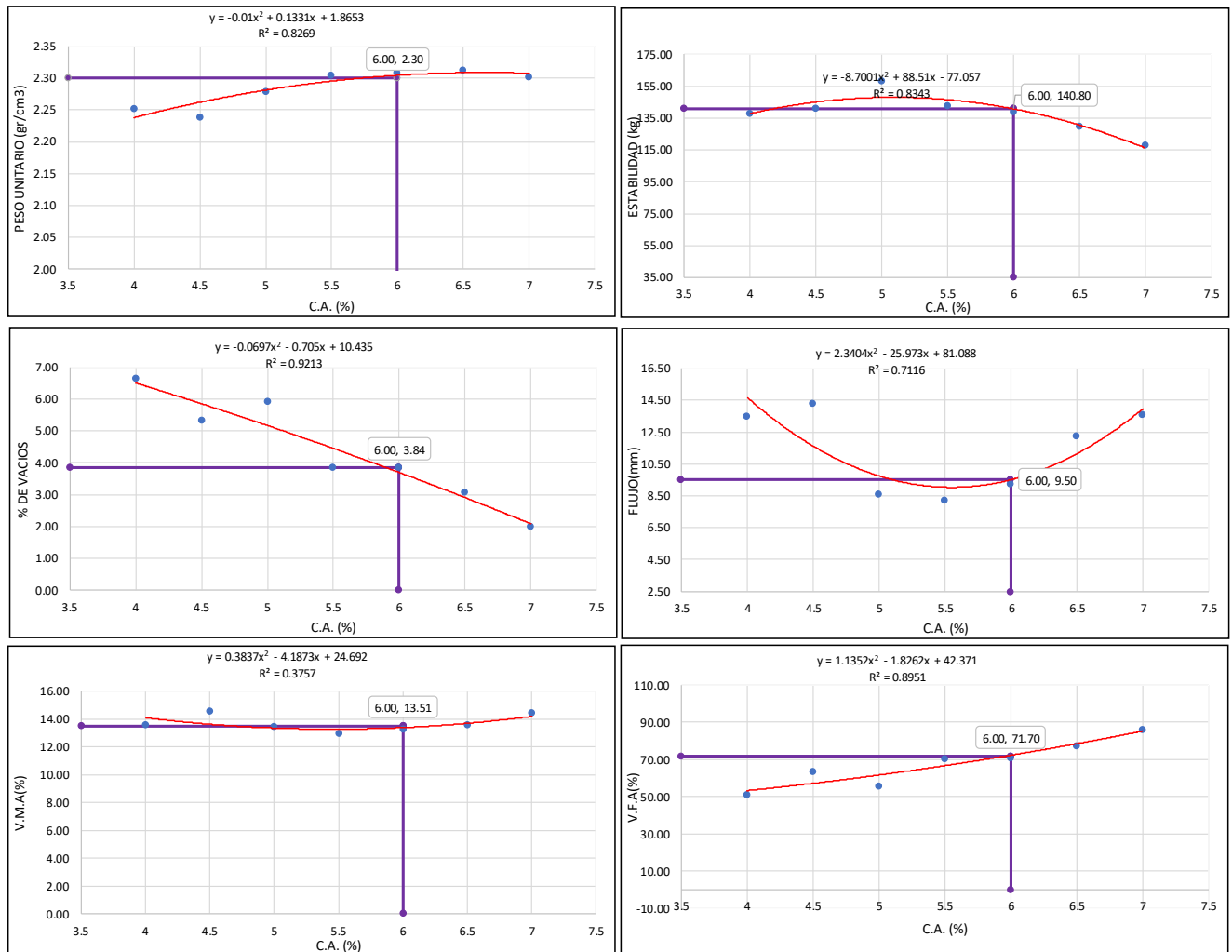
Número de Probetas	N°	1	2	3	4	Promedio
1 % C.A. en peso de la Mezcla	%	6.50	6.50	6.50		
2 % de agregado grueso	%	42.08	42.08	42.08		
3 % de agregado fino	%	51.43	51.43	51.43		
4 Peso Especifico Aparente de C.A.	gr/cc.	1.015	1.015	1.015		
5 Peso Especifico de agregado grueso	gr/cc.	2.514	2.514	2.514		
6 Peso Especifico de agregado fino	gr/cc.	2.539	2.539	2.539		
7 Altura Promedio de la Probeta	cm.	62.18	63.18	63.10		62.82
8 Peso de la briqueta en el Aire	gr.	1135.00	1165.00	1165.00		
9 Peso de la briqueta Saturada	gr.	1137.0	1166.0	1166.0		
10 Peso de la briqueta en el Agua	gr.	647.0	664.0	668.0		
11 Volumen de la briqueta por desplazamiento (09-10)	c.c.	490.0	502.0	498.0		496.7
12 Peso Especifico de la Probeta (08/11)	gr/cc.	2.333	2.338	2.357		2.343
13 Peso Especifico Máximo (Rice) ASTM D-2041	gr/cc.	2.422	2.422	2.422		
14 Peso Especifico Máximo (Teórico) $100 / ((1/4 + 2/5 + 3/6))$	gr/cc.	2.305	2.305	2.305		
15 % de Vacios $100 * ((13-12)/13)$	%	3.7	3.5	2.7		3.3
16 Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(2+3) / ((2/5 + 3/6))$	gr/cc.	2.528	2.528	2.528		
17 % V.M.A. Vacios del Agregado Mineral $100 - (2+3) * 12/16$	%	13.7	13.5	12.8		13.35
18 % vacios llenados con C.A. $100 * ((17-15)/17)$	%	73.3	74.4	79.0		75.6
19 Peso Especifico Efectivo del Agregado $T_r(2+3) / ((100/13 - 1/4))$	gr/cc.	2.680	2.680	2.680		
20 C.A. Absorbido por el Peso del Agregado $(100 * 4) * ((19-16) / (16 * 19))$	%	2.28	2.28	2.28		
21 % de Asfalto Efectivo (1-20)	%	4.22	4.22	4.22		
22 Flujo (0.01 pulg)	mm	12.70	10.16	11.43		11.43
23 Estabilidad sin corregir		1120	1509	1273		
24 Factor de Estabilidad		1.03	1.01	1.01		
25 Estabilidad corregida (24*23)	kg.	1158	1521	1286		1322
26 Factor de Rigidez (25/22)	kg/cm.	2315	3803	2858		2937
27 Número de Golpes por Capa		75	75	75		

ANEXO 6: Gráficos obtenidos de las mezclas asfálticas en caliente (mezclas patrón tipo MAC-01 y mezclas modificadas tipo SA y SB).

	FORMATO	Código	
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15	Versión	01
		Fecha	30-01-2023
		Página	2 de 13

REQUERIMIENTO GRANULOMÉTRICO MARSHALL MAC-01							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
% C.A. En peso de la mezcla	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
% de Agregado Grueso	50.52	50.26	50.00	49.74	49.47	49.21	48.95
% de agregado Fino	45.48	45.24	45.00	44.76	44.53	44.29	44.05
P.e. del C.A (g/cm ³)	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
P.e. del Agregado Grueso bulk (g/cm ³)	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49
P.e. del Agregado Fino bulk (g/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
Peso Unitario de la Briqueta (g/cm ³)	2.25	2.24	2.28	2.30	2.31	2.31	2.30
Máxima densidad teórica de la mezcla (g/cm ³)	2.41	2.36	2.42	2.40	2.40	2.38	2.35
% de Vacíos (Va)	6.65	5.33	5.93	3.84	3.85	3.07	1.99
Estabilidad corregida (Kg)	137.53	140.76	158.27	142.36	138.61	129.63	117.95
Flujo (mm)	13.50	14.27	8.59	8.21	9.23	12.23	13.59
P.e. bulk del agregado total(g/cm ³)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
% de Vacíos del agregado mineral (V.A.M.)	13.54	14.51	13.42	12.93	13.21	13.56	14.39
% de Vacíos llenados por cemento asfáltico (V.F.A.)	50.85	63.26	55.80	70.28	70.88	77.40	86.15
P.e. efectivo del agregado total(g/cm ³)	2.41	2.37	2.42	2.40	2.40	2.39	2.35
Factor de rigidez	2586.74	2504.69	4677.84	4402.90	3814.99	2691.25	2204.61

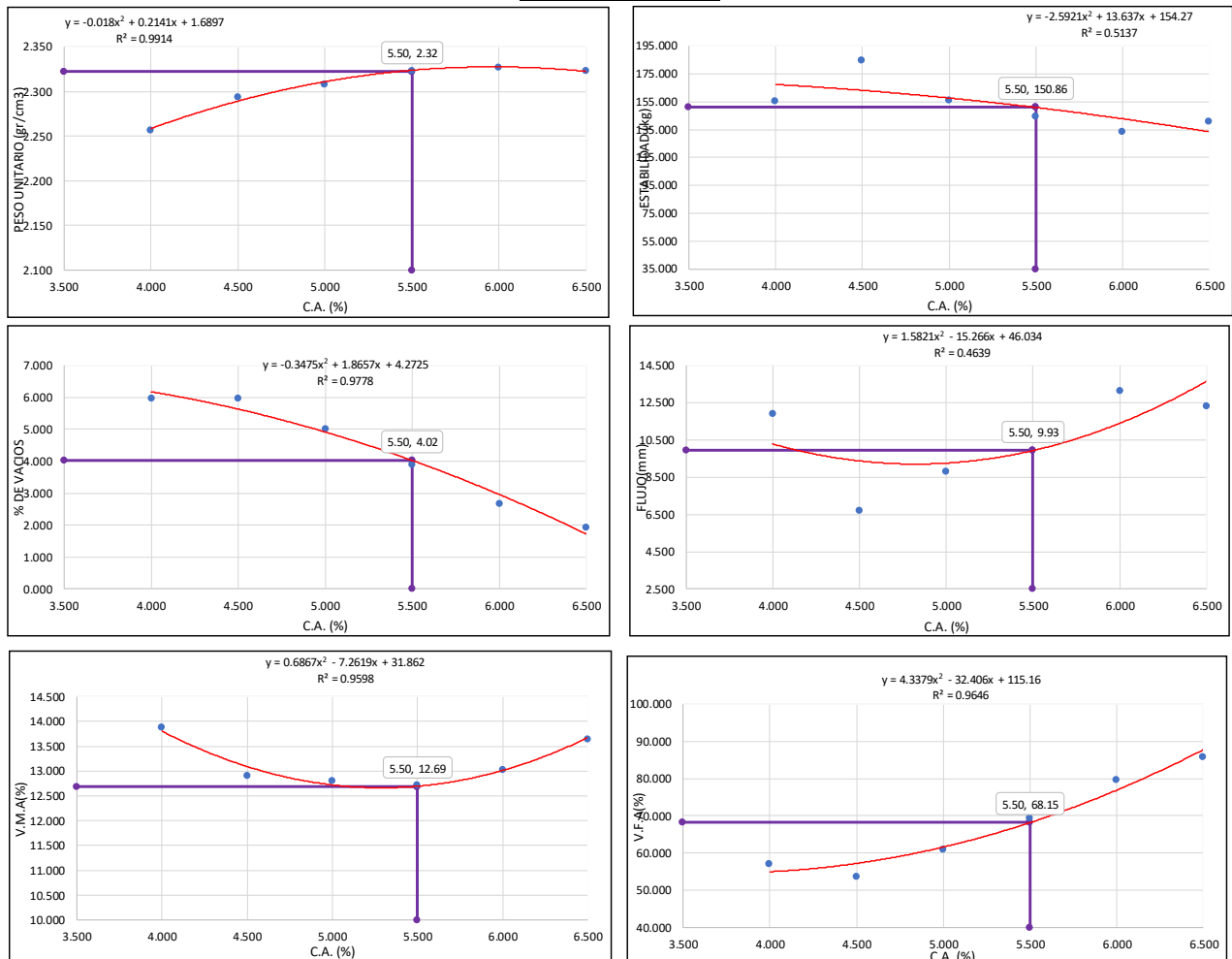
GRAFICOS - DISEÑO MARSHALL



	FORMATO	Código	
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15	Versión	Superpave - SA
	Bach: Brayan Leiner Parisuaña Incahuacano	Fecha	
		Página	

REQUERIMIENTO GRANULOMÉTRICO SUPERPAVE POR ENCIMA DE LA RESTRICCIÓN						
	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6
% C.A. En peso de la mezcla	4.000	4.5	5	5.5	6	6.5
% de Agregado Grueso	40.320	40.11	39.90	39.69	39.48	39.27
% de agregado Fino	55.680	55.39	55.10	54.81	54.52	54.23
P.e. del C.A (g/cm3)	1.015	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
P.e. del Agregado Grueso bulk (g/cm3)	2.508	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
P.e. del Agregado Fino bulk (g/cm3)	2.521	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
Peso Unitario de la Briqueta (g/cm3)	2.257	2.29	2.31	2.32	2.33	2.32
Máxima densidad teórica de la mezcla (g/cm3)	2.400	2.44	2.43	2.42	2.39	2.37
% de Vacíos (Va)	5.954	5.98	5.00	3.90	2.66	1.93
Estabilidad corregida (Kg)	155.661	184.45	156.17	144.24	133.61	141.02
Flujo (mm)	11.917	6.71	8.79	11.03	13.13	12.33
P.e. bulk del agregado total(g/cm3)	2.5157	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
% de Vacíos del agregado mineral (V.A.M.)	13.881	12.91	12.81	12.72	13.03	13.65
% de Vacíos llenados por cemento asfáltico (V.F.A.)	57.106	53.71	60.94	69.31	79.59	85.90
P.e efectivo del agregado total(g/cm3)	2.401	2.44	2.43	2.42	2.39	2.37
Factor de rigidez	3317.866	6984.05	4511.88	3323.09	2585.66	2904.27

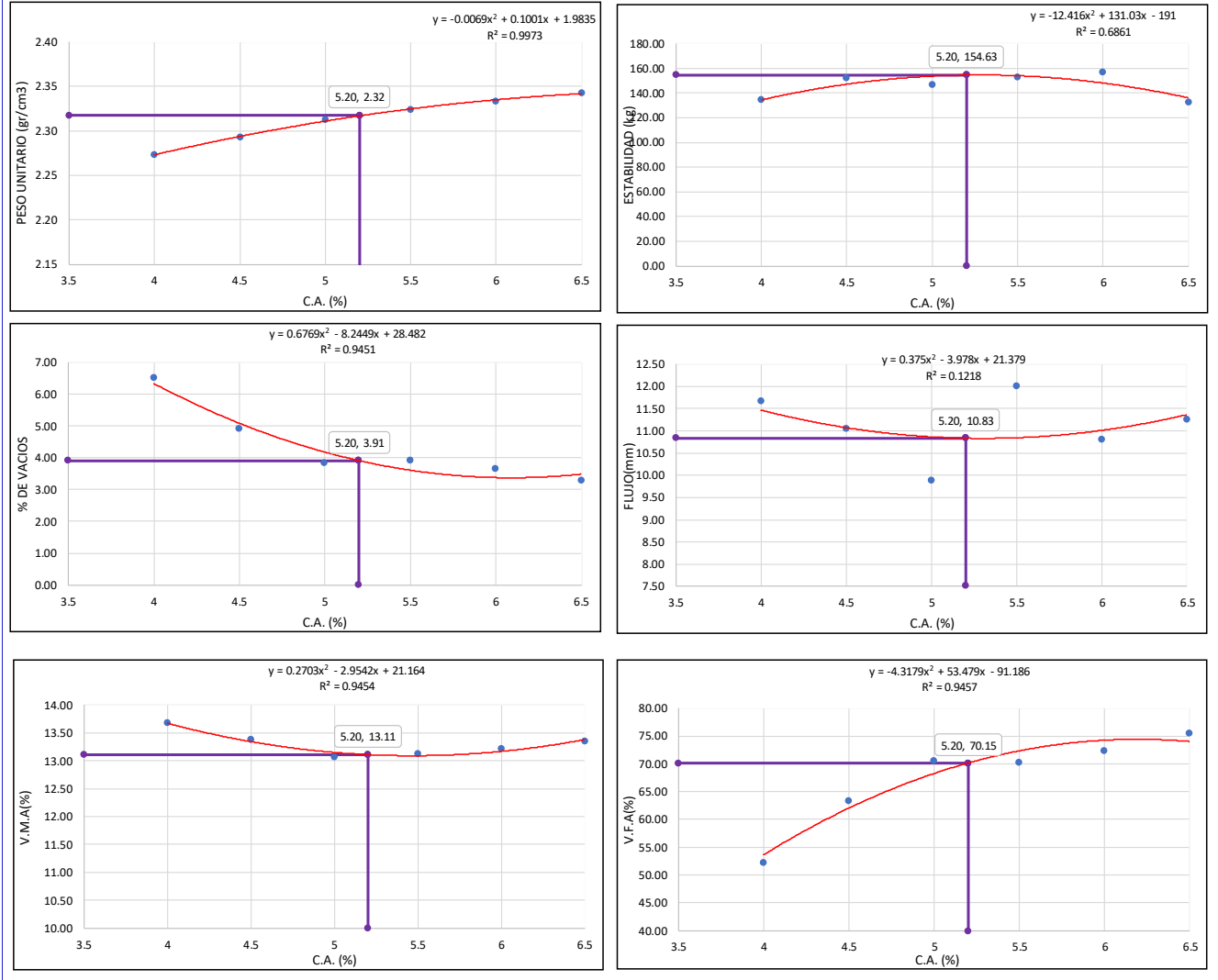
GRAFICOS - DISEÑO MARSHALL



	FORMATO	Código	
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL ASTM D6927-15	Versión	Superpave - SB
	Bach: Brayan Leiner Parisuaña Incahuanaco	Fecha	
		Página	

REQUERIMIENTO GRANULOMÉTRICO SUPERPAVE POR DEBAJO DE LA RESTRICCIÓN						
	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6
% C.A. En peso de la mezcla	4	4.5	5	5.5	6	6.5
% de Agregado Grueso	43.20	42.98	42.75	42.53	42.30	42.08
% de agregado Fino	52.80	52.53	52.25	51.98	51.70	51.43
P.e. del C.A (g/cm3)	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
P.e. del Agregado Grueso bulk (g/cm3)	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
P.e. del Agregado Fino bulk (g/cm3)	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
Peso Unitario de la Briqueta (g/cm3)	2.27	2.29	2.31	2.32	2.33	2.34
Máxima densidad teórica de la mezcla (g/cm3)	2.43	2.41	2.41	2.42	2.42	2.42
% de Vacíos (Va)	6.52	4.90	3.84	3.90	3.65	3.27
Estabilidad corregida (Kg)	134.01	151.81	146.58	152.42	156.82	132.16
Flujo (mm)	11.67	11.04	9.88	12.00	10.79	11.25
P.e. bulk del agregado total(g/cm3)	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
% de Vacíos del agregado mineral (V.A.M.)	13.67	13.38	13.06	13.12	13.22	13.35
% de Vacíos llenados por cemento asfáltico (V.F.A.)	52.32	63.39	70.64	70.31	72.36	75.50
P.e efectivo del agregado total(g/cm3)	2.43	2.41	2.41	2.42	2.42	2.42
Factor de rigidez	2917.60	3492.21	3770.38	3226.23	3691.02	2983.77

GRAFICOS - DISEÑO MARSHALL



ANEXO 7: Cuadro de “T” de student.

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238



ANEXO 8: Constancias de laboratorio de suelos y pavimentos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**CONSTANCIA DE USO DE EQUIPOS DE LABORATORIO
DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES**

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS Y MATERIALES DE LA FICA**

Hace constar:

Que el tesista, Bach. **BRAYAN LEINER PARISUAÑA INCAHUANACO**, hizo uso de los equipos del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales - FICA, para realizar los ensayos requeridos para su proyecto de Tesis: **"INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS DEL DISEÑO MARSHALL EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PUNO, CENTRO POBLADO DE ALTO PUNO"**. Conducente a la obtención del Título profesional de Ingeniero Civil.

Los ensayos que realizaron son los siguientes:





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS

ÍTEM	ENSAYOS	NORMA	CANTIDAD	U.M.
01	Análisis Granulométrico por Lavado.	ASTM D-6913	02	Und.
02	Límites de Consistencia (L.L. y L.P.).	ASTM D-4318	01	Und.
03	Gravedad Especifica de Suelos Global (piedra chancada, Gravas y Finos).	ASTM D-854/C127	01	Und.
04	Ensayo de abrasión en agregado menos de 1½".	ASTM C-131	01	Und.
05	Equivalente de arena.	ASTM D 2419	01	Und.
06	Azul de Metileno.	AASTHO T 57	01	Und.
07	Caras Fracturadas.	ASTM D5821-13	01	Und.
08	Partículas Chatas y Alargadas.	ASTM D4791-10	01	Und.
09	Elaboración de briquetas de Asfalto.	MTC E 504	45	Und.

Los resultados obtenidos, de los ensayos, no son responsabilidad del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita del interesado, para adjuntar en su proyecto de Tesis.

Puno, C. U. 05 de diciembre del 2023.



C.c.
Arch./LMSyM.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



**CONSTANCIA DE USO DE EQUIPOS DE LABORATORIO
DE PAVIMENTOS**

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE PAVIMENTOS

Hace constar:

Que el tesista, **Bach. BRAYAN LEINER PARISUAÑA INCAHUANACO**, hizo uso de los equipos del Laboratorio de Pavimentos - FICA, para realizar los ensayos requeridos para su proyecto de Tesis: **"INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS DEL DISEÑO MARSHALL EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PUNO, CENTRO POBLADO DE ALTO PUNO"**. Conducente a la obtención del Título profesional de Ingeniero Civil.

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS

ÍTEM	ENSAYOS	NORMA	CANTIDAD	U.M.
01	Ensayo para la Densidad Máxima Teóricas en mezclas bituminosas RICE.	ASTM D-2041	09	Und.
02	Estabilidad Mashall.	ASTM D-6927	45	Und.

Los resultados obtenidos, de los ensayos, no son responsabilidad del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita del interesado, para adjuntar en su proyecto de Tesis.

Puno, C. U. 19 de diciembre del 2023.



Ing. Silvia L. Ingaluque Arapa
Jefe del Laboratorio de Pavimentos

C.c.
Arch./LMSyM.

ANEXO 9: Panel fotográfico.

- Granulometría por tamizado de los agregados para la metodología Marshall (ASTM D 6913) -MARSHALL TIPO MAC-01, SA Y SB.



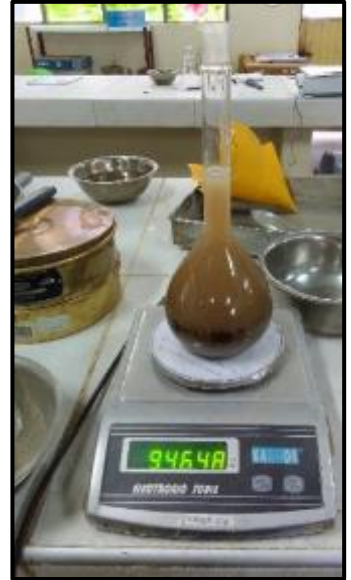
- Desgaste por abrasión e impacto (Abrasión los ángeles ASTM C 131).



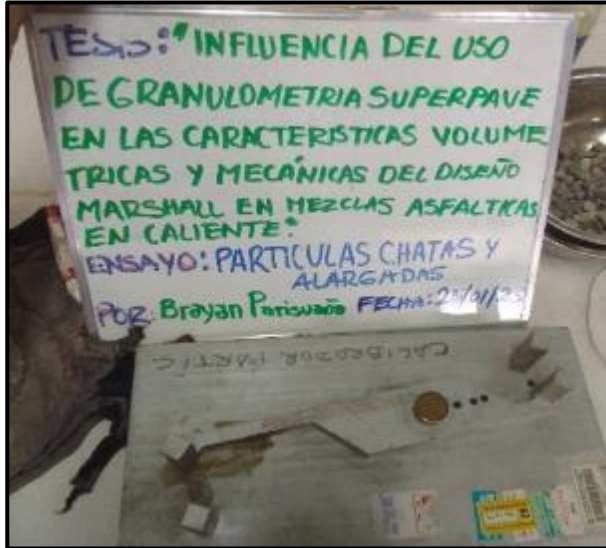
- Densidad relativa y absorción de agregado grueso (ASTM C 127).



- Gravedad específica y absorción de agregado fino (ASTM C128).



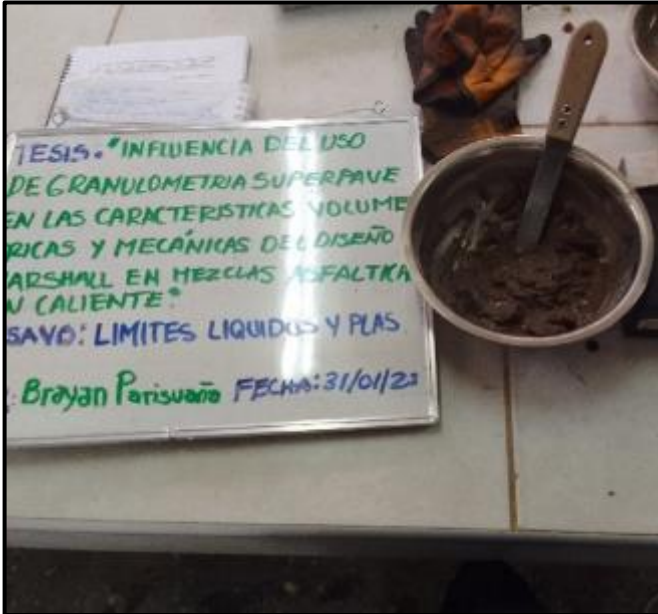
- Partículas chatas y alargadas (ASTM D 4791).



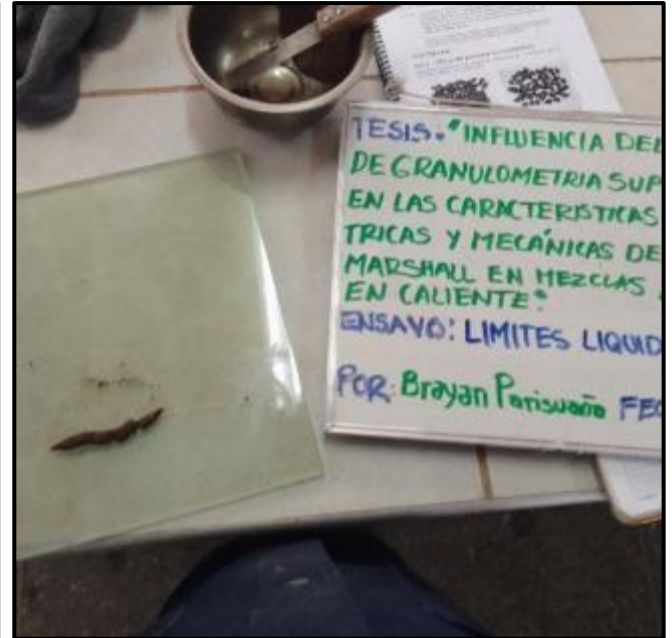
- Partículas chatas y alargadas (ASTM D 4791).



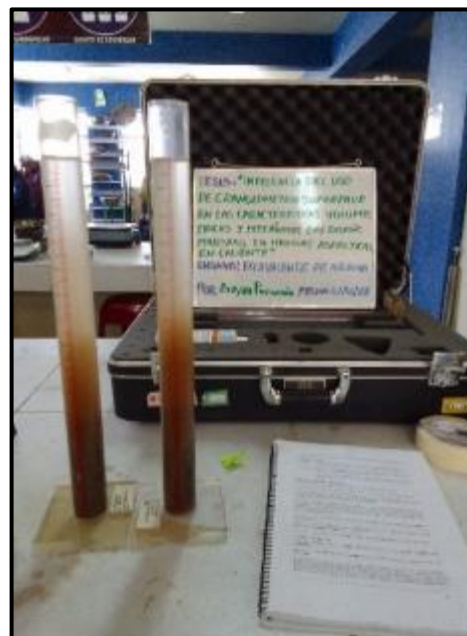
- Índice de plasticidad del material que pasa el tamiz No 200 y No 40 (ASTM D 4318).



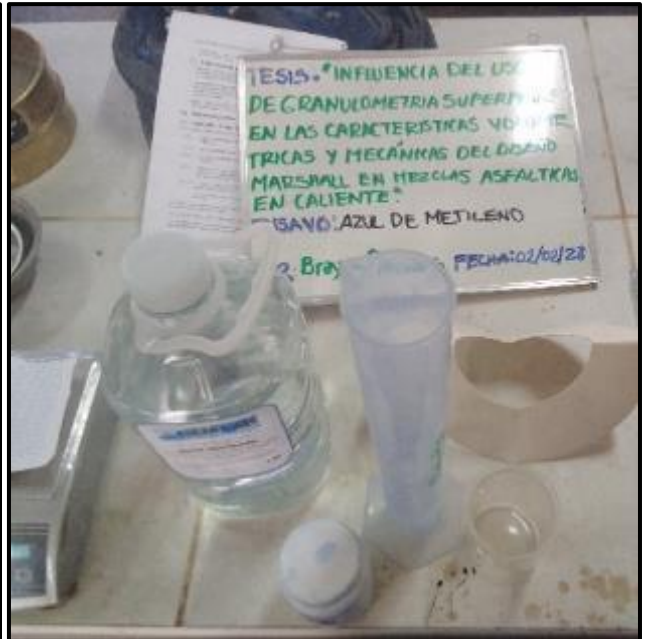
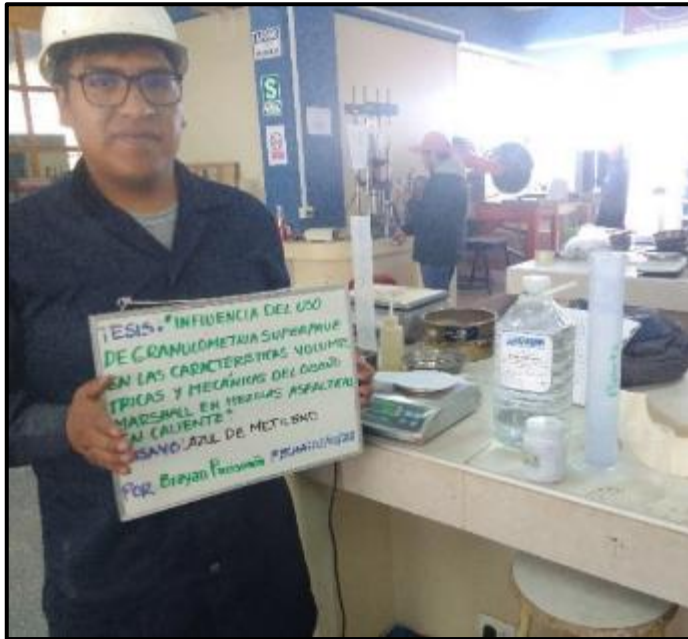
- Índice de plasticidad del material que pasa el tamiz No 200 y No 40 (ASTM D 4318).



- Equivalente de arena (ASTM D 2419).



- Valor Azul de Metileno (AASHTO T-330).



- Mezcla asfáltica en Caliente por el método Marshall (ASTM D 6926).





- Prueba estándar para la estabilidad y el flujo de Marshall (ASTM D6927).





- Densidad y gravedad específica máxima teórica de mezclas bituminosa RICE (ASTM D2041).





- Equipos utilizados para la elaboración de briquetas Marshall y para la prueba de estabilidad y flujo Marshall.







- Briquetas ya ensayadas con granulometría tipo MAC-01, SA y SB.





DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo BRAYAN LEINER PARISUALTA ILLICAHUANACO
identificado con DNI 76786690 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN LAS
CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL, PUNO, CENTRO POBLADO ALTO PUNO "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como propias las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso.

Puno 11 de ABRIL del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo BRAYAN LEINER PARIQUAÑA INCAHUANACO
identificado con DNI 75786690 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" INFLUENCIA DEL USO DE GRANULOMETRÍA SUPERAVE EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL DISEÑO MARSHALL PUNO, CENTRO DOBLADO ALTO PUNO "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia: Creative

Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 11 de ABRIL del 2024



FIRMA (obligatoria)

