

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Calidad de material granular del distrito de Abancay y su influencia en el
comportamiento físico - mecánico de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025**

Asesor:

Ph. D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Autor:

Bravo Hurtado, Arunika

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2026

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 048

En la ciudad de Abancay, a los dieciséis (16) días del mes de julio del 2026, siendo las 09:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0592-2026-EPIC-FI-UTEA-SA de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente	: Mag. ROLDAN JUAREZ, Américo
Dictaminante	: Mag. LEGUIA VALVERDE, Willy Silvestre
Replicante	: Mag. MALDONADO MENDIVIL, Ángel

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: *Calidad de material granular del distrito de Abancay y su influencia en el comportamiento físico - mecánico de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025*

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br. BRAVO HURTADO, Arunika

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO(S) ☒ o DESAPROBADO(S) ☐:

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller	Nota	Detalle (**)
Br. BRAVO HURTADO, Arunika	14	APROBADO

Siendo las 10:10 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. ROLDAN JUAREZ, Américo

(.....)

Dictaminante: Mag. LEGUIA VALVERDE, Willy Silvestre

(.....)

Replicante: Mag. MALDONADO MENDIVIL, Ángel

(.....)

Nota: Desaprobado: 0-10; Aprobado: 11-20

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud



Página 2 de 148 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:629794322

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 19%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Página 2 de 148 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:629794322

Metadatos

Datos del autor		
Apellidos y nombres	:	Bravo Hurtado Arunika
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	70140609
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0005-2273-2434
Datos del asesor		
Apellidos y nombres	:	Ph. D. Vásquez Ramírez Abbon Alex
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	06532658
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos de la tesis		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de tesis	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la tesis	:	2025
Fuente de financiamiento	:	Recursos propios
Porcentaje de similitud	:	19% con depósito
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A Dios que me concedió la vida y me permite escalar un peldaño más para llegar a este momento tan especial y anhelado.

A mis padres por darme la vida, amarme, creer en mí y por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida profesional, otorgándome la representación digna de superación y entrega, los amo.

A mis hermanos por alegrar mis días y estar conmigo siempre, los quiero mucho.

Arunika Bravo Hurtado

Agradecimientos

A Dios por darme la vida y por las fuerzas que me brinda para seguir desarrollándome como persona y profesional.

A nuestra Alma Mater” la Universidad Tecnológica de los Andes, centro superior de estudios que me brindó la oportunidad de formarme y forjar en mi camino profesional.

A mi asesor Ing. Ph. D. Abbon Alex Vásquez Ramírez por su compromiso y apoyo a lo largo de este proceso. A mis docentes que a lo largo de mi formación profesional han aportado con su rectitud y visión crítica en mi formación profesional, mil gracias por sus consejos y sus enseñanzas en lo largo de este camino

Arunika Bravo Hurtado

Resumen

El objetivo general de esta tesis fue evaluar la calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío, utilizando muestras de las canteras Pedregal y Murillo del distrito de Abancay, 2025. El enfoque metodológico fue cuantitativo, con un diseño experimental, permitiendo observar y analizar los efectos directos de las características del material granular en la calidad de la mezcla asfáltica. La muestra consistió en porciones representativas de material granular extraído de las canteras de Pedregal y Murillo que se encuentran en el distrito de Abancay, y se empleó la ficha de observación de los ensayos como instrumento de recolección de datos para registrar las características físicas y mecánicas del material, sin embargo, previamente se hicieron las pruebas de laboratorio de los materiales en porciones requeridas para la evaluación y su análisis correspondiente. Entre los principales resultados, se destacaron la variabilidad en la gradación del material, especialmente en los tamices intermedios y gruesos, y la relación directa entre la calidad del material granular y la durabilidad de la mezcla asfáltica. La conclusión más relevante señala que una correcta distribución de tamaños y una menor absorción de los agregados son importantes para garantizar la estabilidad y durabilidad del pavimento.

Palabras clave: Material granular, mezcla asfáltica, calidad, durabilidad, pavimentos

Abstract

The general objective of this research was to evaluate the quality of the granular material and its influence on the physical-mechanical behavior of the cold asphalt mixture, using samples from the Pedregal and Murillo quarries in the Abancay district, 2025. The methodological approach was quantitative, with an experimental design, allowing to observe and analyze the direct effects of the characteristics of the granular material on the quality of the asphalt mixture. The sample consisted of representative portions of granular material extracted from the Pedregal and Murillo quarries located in the Abancay district, and the observation form essays was used as a data collection instrument to record the physical and mechanical characteristics of the material, however, laboratory tests of the materials were previously carried out in portions required for the evaluation and their corresponding analysis. Among the main results, the variability in material gradation, especially in the intermediate and coarse sieves, and the direct relationship between the quality of the granular material and the durability of the asphalt mixture were highlighted. The most relevant conclusion indicates that proper size distribution and reduced aggregate absorption are important to ensure pavement stability and durability.

Keywords: Granular material, asphalt mixture, quality, durability, pavements

Índice general

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice general	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de anexos	xiv
I. Introducción	15
II. Planteamiento del problema.....	16
2.1. Descripción y formulación del problema.....	16
2.2. Objetivos.....	18
2.2.1. Objetivo general	18
2.2.2. Objetivos específicos	18
2.3. Justificación e importancia	19
2.4. Hipótesis.....	20

2.5.	Variables.....	21
III.	Marco Teórico	24
3.1.	Antecedentes.....	24
3.2.	Bases Teóricas.....	38
3.3.	Definición de términos	55
IV.	Metodología	57
4.1.	Tipo y nivel de Tesis	57
4.2.	Ámbito temporal y espacial	57
4.3.	Población, Muestra y Muestreo.....	57
4.4.	Instrumentos	57
4.5.	Procedimientos	57
4.6.	Análisis de datos.....	58
4.7.	Consideraciones Éticas.....	58
V.	Resultados y discusión.....	59
VI.	Conclusiones	109
VII.	Recomendaciones	111
VIII.	Referencias	113
IX.	Anexos	119

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente: Calidad del material granular	22
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente: Propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frío	23
Tabla 3 Gradación de agregados para mezclas densas en frío	50
Tabla 4 Requisitos de los agregados pétreos para pavimento asfáltico en frío.....	51
Tabla 5 Tipos de mezcla en función del tipo y espesor compacto de la capa.....	53
Tabla 6 Requerimientos para mezclas densas en frío.....	54
Tabla 7 Tolerancias granulométricas de los agregados para mezclas densas en frío	55
Tabla 8 Características de la piedra chancada 3/8 de la cantera Murillo -Pachachaca.....	59
Tabla 9 Características de la piedra chancada 3/4 de la cantera Murillo -Pachachaca.....	61
Tabla 10 Características de la arena gruesa de la cantera Murillo -Pachachaca	63
Tabla 11 Diseño de mezcla asfáltica (Método Illinois-Marshall) combinación de agregados - Murillo	65
Tabla 12 Características de la piedra chancada 3/8 de la cantera pedregal	67
Tabla 13 Características de la piedra chancada de ¾ cantera pedregal.....	69
Tabla 14 Características de la arena gruesa cantera pedregal.....	71
Tabla 15 Diseño de mezcla asfáltica (Método Illinois-Marshall) Combinación de agregados - Pedregal.....	73
Tabla 16 Abrasión Los Ángeles al desgaste del material grueso de cantera (MTC E 207-2016) Cantera Murillo: Material Agregado grueso y fino	75
Tabla 17 MTC E 207-2016 Cantera Pedregal: Material Agregado grueso y fino.....	76
Tabla 18 Determinación de la equivalencia de arena ASTM D2419	78
Tabla 19 Peso específico, gravedad específica y absorción del agregado (MTC E 205-2016) 80	
Tabla 20 Peso específico y absorción del agregado grueso (MTC E 206).....	81
Tabla 21 Porcentaje de partículas fracturadas en agregados MTC E 210 - 2016	83

Tabla 22	Porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso.....	84
Tabla 23	Densidad y porcentaje de vacíos – Cantera Murillo	86
Tabla 24	Densidad y porcentaje de vacíos – Cantera Pedregal	87
Tabla 25	Flujo (mm) VS % de asfalto – Cantera Murillo	88
Tabla 26	Flujo (mm) VS % de asfalto – Cantera Pedregal	90
Tabla 27	Índice y coeficiente de absorción: Cantera Murillo	92
Tabla 28	Índice y porcentaje de absorción: Cantera Pedregal.....	94
Tabla 29	Índice y porcentaje de absorción: Cantera Murillo	96
Tabla 30	Índice y porcentaje de absorción: Cantera Pedregal.....	97
Tabla 31	<i>Contraste de hipótesis general</i>	99
Tabla 32	<i>Contraste de hipótesis específica 3</i>	101
Tabla 33	<i>Contraste de hipótesis específica 4</i>	103
Tabla 34	<i>Contraste de hipótesis específica 5</i>	105

Índice de figuras

Figura 1 Representaciones esquemáticas de las gradaciones de agregados en un conjunto de partículas de agregados	40
Figura 2 Vacíos y condiciones de absorción del agregado.....	41
Figura 3 Concepto de ensayo de descamación para agregados gruesos	42
Figura 4 Dos gráficos comparables para la evaluación visual de la forma de las partículas	43
Figura 5 Clasificación de agregados por cargas superficiales	46
Figura 6 Características de la piedra chancada 3/8 de la cantera Murillo –Pachachaca	59
Figura 7 Características de la piedra chancada 3/4 de la cantera Murillo –Pachachaca	61
Figura 8 Características de la arena gruesa de la cantera Murillo – Pachachaca	63
Figura 9 Diseño de mezcla asfáltica (Método Illinois-Marshall) combinación de agregados – Murillo	65
Figura 10 Características de la piedra chancada de 3/8	67
Figura 11 Características de la piedra chancada de 3/4	69
Figura 12 Características de la arena gruesa	71
Figura 13 Diseño de mezcla asfáltica (Método Illinois-Marshall) Combinación de agregados.	73
Figura 14 Densidad y porcentaje de vacíos – Cantera Murillo	86
Figura 15 Densidad y porcentaje de vacíos – Cantera Murillo	87
Figura 16 Flujo y estabilidad – Cantera Murillo	89
Figura 17 Flujo (mm) VS % de asfalto – Cantera Pedregal.....	91
Figura 18 Índice y coeficiente de absorción: Cantera Murillo	92
Figura 19 Índice y porcentaje de absorción: Cantera Pedregal	94

Índice de anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	120
Anexo 2: Cuestionario.....	121
Anexo 3: Evaluación por expertos.....	123
Anexo 4: Evidencias fotográficas.....	126
Anexo 5: Resultados de laboratorio.....	134

I. Introducción

La calidad de los materiales utilizados en la construcción de pavimentos asfálticos es un factor determinante en la durabilidad y resistencia de las carreteras. En este contexto, el material granular desempeña un papel fundamental, ya que su composición y propiedades físicas y mecánicas afectan directamente el comportamiento de las mezclas asfálticas. Esta tesis se enfoca en evaluar la calidad del material granular proveniente de las canteras Pedregal y Murillo del distrito de Abancay, con el objetivo de determinar su influencia en el comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío, especialmente en aspectos como absorción, densidad, flujo y estabilidad.

El estudio se basa en un enfoque cuantitativo y un diseño experimental que permite observar las características específicas de los materiales a través de pruebas de laboratorio. Se utilizó la ficha de observación para la recolección de datos, lo que facilitó un análisis detallado de la gradación, resistencia al desgaste y otras propiedades del material. Los resultados obtenidos de este análisis brindan información clave para optimizar el uso de estos materiales en la construcción de pavimentos, mejorando así la calidad y durabilidad de las infraestructuras viales en la región de Abancay. La presente tesis se encuentra estructurada de la siguiente manera:

En el primer ítem se redacta la introducción del estudio realizado.

En el segundo ítem se prese el planteamiento del problema, su formulación, los objetivos y la hipótesis, además de la respectiva justificación.

En el tercer ítem se redacta el marco teórico, considerando los antecedentes, las respectivas bases teóricas más importantes para el estudio, según la delimitación de variables y dimensiones. En el cuarto ítem se expone la metodología utilizada para la tesis.

En el quinto ítem, los resultados y su respectiva discusión. En el sexto item las conclusiones respectivas. En el séptimo item las recomendaciones. En el octavo ítem las respectivas referencias y, finalmente, en el noveno ítem se detalla los anexos.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

En nuestro país, la infraestructura vial se encuentra organizada en tres niveles: la Red Vial Nacional (con una longitud de 27,109 kilómetros), que está bajo la jurisdicción del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC); la Red Vial Departamental (que abarca 27,505 kilómetros) a cargo de los Gobiernos regionales; y finalmente, la Red Vial Vecinal (con una extensión de 113,857 kilómetros), que está bajo la competencia de los Gobiernos municipales (MTC, 2018).

De acuerdo a las estadísticas proporcionadas por el MTC, el porcentaje de vías pavimentadas dentro de la red vial nacional aumentó del 59.9% en 2012 al 79.1% en 2018. Sin embargo, la tendencia es diferente cuando se analiza la Red Vial Departamental, que alcanzó un 13.2% de vías pavimentadas para el mismo periodo. Entonces, es relevante destacar que la red vecinal del país, cuya función principal es unir comunidades locales, exhibe un elevado porcentaje del 64% de caminos sin pavimentar, que se dividen en categorías que incluyen afirmados, no afirmados y trochas (ComexPerú, 2020).

De este último grupo, ciertos departamentos presentan una proporción significativamente alta de caminos vecinales sin pavimentar, tanto en la categoría de afirmados como en la de trochas. Estos departamentos son Arequipa (94.4%), Ica (94.2%), La Libertad (89.1%), Loreto (88%), Huánuco (73.2%), Junín (68.5%), Moquegua (86.7%), Ayacucho (71.6%) y Apurímac (69%) (MTC, 2018).

Nuestro territorio andino y la compleja geografía agreste plantea grandes desafíos tanto para la construcción y mantenimiento de vías de transporte sobre todo los caminos vecinales entre la ciudad y pequeños caseríos aledaños que se encuentran cercanas e interconectadas. La carencia de vías de comunicación terrestre más aún si no se encuentra en adecuado estado de conservación, origina a lo largo del tiempo poblaciones con altos grados de aislamiento entre caseríos.

Para reducir el tiempo de viaje es necesario el mejoramiento de la base y sub base con más razón si es con material granular procedente de zonas cercanas como son las canteras existentes en la cuenca del rio Pachachaca, distrito de Abancay.

Para la aplicación de material granular a estas vías es necesario conocer las propiedades de manera que puedan brindar un performance alto ante el tránsito de vehículos pesados en las vías comprendidas. Asimismo, no se conoce como actúa este material en el tipo de suelos existentes en estas vías ya que se ha caracterizado que son de diferente tipología entre suelos arcillosos, inestables, etc.

El desconocimiento de las propiedades físico-mecánico del material granular procedentes de las diferentes canteras comprendidas en las márgenes de la cuenca del rio Pachachaca del distrito de Abancay. Este material granular objeto de estudio es aplicado desde tiempos remotos como agregado constituyente de mezclas asfálticas en las vías urbanas como rurales del distrito de estudio y zonas aledañas, así como en diferentes obras de infraestructura como lo es en los principales caminos vecinales, carreteras departamentales y nacionales.

Es evidente observar en muchas de las vías descritas las inadecuadas condiciones para la transitabilidad vehicular y peatonal en los caminos vecinales, calles en zonas periurbanas y rurales de las ciudades de Abancay y Tamburco y anexos comprendidos en estos distritos. Aplicar este material es factible ya que la distancia de la cantera es cercana a los diferentes proyectos que se vienen ejecutando, lo que justifica los precios accesibles por la minimización de los costos de transporte.

Sin embargo, el desconocimiento de sus propiedades mencionadas, le quita valor a este ingente recurso natural y su respectivo uso tecnológico y/o aplicación en las mezclas que podrían resultar propicios y de alto valor en una geografía como lo es el ámbito de estudio propuesto. Por lo que, surge la pregunta de tesis que es:

Problema general

¿Cómo la calidad del material granular influye en el comportamiento físico - mecánico de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025?

Problemas específicos

- ¿Cómo se muestra la calidad del material granular en canteras del Distrito de Abancay, 2025?
- ¿Cómo se presentan las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025?
- ¿Cómo la calidad del material granular influye en el comportamiento físico de absorción de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025?
- ¿Cómo la calidad del material granular influye en el comportamiento físico de densidad de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025?
- ¿Cómo la calidad del material granular influye en el comportamiento mecánico de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico - mecánico de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

2.2.2. Objetivos específicos

- Describir la calidad del material granular en canteras del distrito de Abancay, 2025.
- Describir las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.
- Determinar el nivel de influencia de la calidad del material granular en el comportamiento físico de absorción de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.
- Determinar el nivel de influencia de la calidad del material granular en el comportamiento físico de densidad de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

- Determinar el nivel de influencia de la calidad del material granular en el comportamiento mecánico de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

2.3. Justificación e importancia

La presente tesis se realizó con el fin de contribuir a la solución del problema de inadecuadas condiciones de transitabilidad vehicular y peatonal en las vías que articula con el distrito de Abancay con las demás provincias aledañas en las cuales posee terrenos de características similares. Cabe destacar que este estudio ayuda a las poblaciones del distrito de Abancay y distritos aledaños a mejorar las condiciones de vida a partir del traslado de sus productos al mercado de abastos de Abancay y Tamburco. En ese entender, la presente tesis suma a la solución del problema de contar con vías en pésimo estado de conservación y mantenimiento; de esta forma se evita el desorden y malestar de los vehículos de tránsito y transporte, al tiempo que se vela por la salud de la población mediante la realización de un óptimo diseño de vías con la aplicación de la mezcla asfáltica en frío con agregados procedentes del distrito de Abancay.

Los agregados desempeñan un papel importante en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en frío; el estudio de su influencia permitirá comprender cómo diferentes tipos y características de calidad de los agregados afectan las propiedades y el rendimiento de las mezclas, generando información valiosa para mejorar la durabilidad, resistencia, adherencia y estabilidad de las mezclas asfálticas, resultando en pavimentos más seguros y duraderos.

Además, la tesis permitirá identificar las proporciones y combinaciones óptimas de diversas fuentes de material granular. Al comprender cómo los agregados afectan las propiedades del asfalto en frío, se pueden desarrollar mezclas más eficientes y rentables, evitando el uso excesivo o insuficiente de materiales. Esto conlleva a una mayor calidad del pavimento y a la reducción de los costos de construcción y mantenimiento de vías. Al investigar y comprender cómo los agregados influyen en las propiedades del asfalto en frío, también es

posible establecer límites y requisitos más adecuados, promoviendo la estandarización y mejorando la consistencia de las mezclas utilizadas en distintos proyectos a nivel local.

Por otra parte, se justifica ambientalmente pues la tesis puede contribuir a aspectos de sostenibilidad y protección del medio ambiente, al posibilitar el desarrollo de mezclas asfálticas en frío con un menor contenido de material, lo que ayudaría a reducir la extracción de recursos naturales, promoviendo prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en la construcción de pavimentos asfálticos.

En síntesis, el estudio de la influencia de los agregados en las mezclas asfálticas en frío, generará posibilidades de mejora de calidad, rendimiento, eficiencia, sostenibilidad y normativa de las mezclas utilizadas en la construcción de pavimentos de la ciudad de Abancay. Esta tesis proporciona conocimientos esenciales para los profesionales de la ingeniería civil y contribuye al desarrollo de infraestructuras viales más seguras, duraderas y sostenibles.

2.4. Hipótesis

Hipótesis general

La calidad del material granular influye significativamente en el comportamiento físico - mecánico de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

Hipótesis específicas

- La calidad del material granular de las canteras del distrito de Abancay, 2025, cumple con las exigencias correspondientes.
- Las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frío cumplen con los estándares exigidos.
- La calidad del material granular influye significativamente en el comportamiento físico de absorción de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.
- La calidad del material granular influye significativamente en el comportamiento físico de densidad de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

- La calidad del material granular influye significativamente en el comportamiento mecánico de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025

2.5. Variables

Variable independiente

VI: Calidad del material granular

Variable dependiente

VD: Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en frío

Tabla 1*Operacionalización de la variable independiente: Calidad del material granular*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos De Medición	Escalas De Medición
Variable independiente	El estándar ASTM D8, define el agregado como un material granular	Se a medido a través de los indicadores y los	DIMENSIÓN 1: Peso específico y absorción.	• Densidad relativa de los agregados. • Porcentaje de absorción	Ficha de observación	Nominal de 0 gr/cm3a 1 gr/cm3a
Calidad del material granular	compuesto por minerales tales como arena, grava, conchas, escoria o piedra triturada, usado con algún cementante como medio para formar morteros u hormigón. Los agregados naturales son extraídos de ríos o depósitos glaciales. (Menéndez Acurio, 2016)	procesos considerados en el laboratorio, para responder a los objetivos previstos.	DIMENSIÓN 2: Angularidad y textura.	• Angularidad, textura, caras fracturadas.	Ficha de observación	<ul style="list-style-type: none"> • Un valor de 0 gr/cm3a indica que el material es completamente poroso y tiene una densidad igual a la del agua. • Un valor de 1 gr/cm3a indica que el material es completamente sólido y tiene una densidad igual a su densidad real. Nominal de 0% a 100% • Un valor del 0% indicaría que el material no absorbe agua. • Un valor del 100% indicaría que el material puede absorber una cantidad de agua igual a su masa en estado seco. Nominal de 0% a 100%
			DIMENSION 3: Granulometría.	• Tamaño máximo nominal	Ficha de observación	Nominal 0.075mm a 75.20mm <ul style="list-style-type: none"> • Un valor del 0.075mm indicaría que el material tiene partículas muy finas (partículas muy finas) • Un valor del 75.20mm es la abertura de la malla inmediatamente superior a aquella por la que pasa la mayor parte del agregado (partículas muy gruesas) Nominal de 0% a 100%
			DIMENSION 4:	• Resistencia al		
			Abrasión.	desgaste de los materiales	Ficha de observación	<ul style="list-style-type: none"> • 0% buena resistencia al desgaste de abrasión • 100% mala resistencia al desgaste de abrasión

Nota. Elaboración propia

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente: Propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frio

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medición	Escalas de medición
Variable dependiente Propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frio.	Las mezclas asfálticas son una combinación de agregados minerales, filler (relleno), asfalto y, de ser el caso, modificadores o aditivos. Las	Se realizarán las mediciones a través de los indicadores de				
	propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica son resultado de la fricción y la cohesión entre los componentes. La fricción es resultante de la trabazón entre los agregados y depende del tamaño máximo del agregado grueso, y la gradación de los agregados empleados. La cohesión es resultado de las propiedades del asfalto y de la mezcla fina. (Menéndez Acurio, 2016)	las respectivas dimensiones, los valores serán sistematizados estadísticamente para la presentación de los datos cuantitativos.	DIMENSIÓN 1: Absorción (Física)	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de absorción de agua • Resistencia a la humedad • Coeficiente de absorción 	Ficha de observación	Según escalas establecidas en los laboratorios
			DIMENSIÓN 2: Densidad (Física)	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad aparente • Densidad relativa • Porcentaje de vacíos 		Según escalas establecidas en los laboratorios
			DIMENSIÓN 3: Flujo (Mecánica)	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de fluencia Marshal 	Ficha de observación	Según escalas establecidas en los laboratorios
			DIMENSIÓN 4: Estabilidad (Mecánica)	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de fluencia Marshal 		Según escalas establecidas en los laboratorios

Nota. Elaboración propia

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

Nicole et al. (2023) realizó la tesis "*Influence of Aggregates Shape on Porous Asphalt Mixture*" tuvo el **objetivo** de estudiar el efecto de la forma del árido sobre las propiedades volumétricas y mecánicas de la mezcla asfáltica porosa (PAM) y evaluar la calidad de la forma del árido de la mezcla asfáltica porosa en relación con la forma del árido. Las cualidades técnicas y el rendimiento del asfalto poroso dependen en gran medida de la forma del árido y de la rugosidad de la superficie. En cuanto a la **metodología** utilizada, para clasificar el tamaño de los áridos, se llevó a cabo un análisis granulométrico, seguido de un ensayo de abrasión e índice de elongación. La prueba de estabilidad Marshall y la prueba de módulo elástico se llevaron a cabo para estudiar el comportamiento de la PAM mediante la sustitución de diferentes formas de agregados. Los **resultados** indicaron que, la pérdida para el árido fue del 9,83% (inferior al 25%), siendo adecuado para su uso en asfalto poroso; en cuanto a la abrasión se obtuvo 22,10% (dentro del intervalo 20% al 30%), con satisfacción para el revestimiento de carreteras y adecuado para el asfalto poroso; en cuanto a la estabilidad de Marshall, los guijarros angulares hicieron que la muestra de asfalto poroso fuera menos trabajable, la angulosidad del árido grueso tuvo un impacto significativo en la resistencia del asfalto poroso a la deformación permanente, dando como resultado una combinación más rígida y robusta; en cuanto al módulo de resiliencia, el resultado a la temperatura de 25°C es más eficaz y más alto para la mezcla asfáltica porosa en comparación con la prueba a 40°C, a ambas temperaturas, la muestra de áridos cúbicos tiene un módulo de elasticidad mayor; las **conclusiones** arribadas indican que, la mezcla asfáltica porosa de áridos cúbicos es más recomendable, ya que su resistencia es mayor que la del asfalto poroso convencional. La superficie rugosa de los áridos cúbicos se adhiere más fácilmente al asfalto.

Kusumawardani y Wong (2020) realizó la tesis “The influence of aggregate shape properties on aggregate packing in porous asphalt mixture (PAM)”, cuyo **objetivo** analizó la influencia de las propiedades de forma de los áridos en el empaquetamiento de la mezcla asfáltica porosa (PAM) utilizando mediciones de laboratorio y un modelo DEM. La influencia de estas propiedades de forma se evaluó utilizando áridos de tres formas: cúbica, de cuchilla y de disco. Se definieron tres parámetros de forma: esfericidad, factor de forma y redondez, para cuantificar las propiedades de forma de los áridos. En cuanto a la **metodología**, la influencia se midió a través de estudios comparativos de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica porosa (PAM) de laboratorio frente a simulaciones algorítmicas del método de elementos discretos (DEM). Los **resultados** mostraron que la estructura de empaquetamiento de los áridos se ve muy afectada por sus propiedades de forma, en términos de propiedades volumétricas y propiedades mecánicas. Los resultados del análisis estadístico indicaron que la forma cúbica es la recomendada para optimizar la calidad de la estructura de empaquetamiento de los áridos de la PAM. Respecto a los principios de estas influencias; se **concluyó** que, la forma, gradación y apariencia del agregado tienen un impacto significativo en el desempeño de las carreteras de las mezclas asfálticas, lo que está directamente relacionado con las características de deformación y la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas. Li et al. (2022), a través de su estudio “Research on Three-Dimensional Morphological Characteristics Evaluation Method and Processing Quality of Coarse Aggregate” se planteó el **objetivo** de analizar y discutir los indicadores morfológicos bidimensionales y tridimensionales del agregado y su calidad de producción. La **metodología** para analizar cuantitativamente las características de forma del agregado grueso de la carretera, fue mediante un escáner tridimensional de alta precisión para obtener la red característica de la superficie del agregado y establecer el modelo sólido de las partículas de agregado grueso. Los **resultados** muestran que la diferencia entre el perímetro y el área proyectada del contorno del agregado, bajo diferentes ángulos de visión es relativamente grande, lo que está estrechamente relacionado con el índice de planitud del agregado; arribando

a la siguiente **conclusión**: cuanto más rica sea la angularidad del agregado grueso, mejor será la estabilidad a alta temperatura y la resistencia a la fatiga de la mezcla asfáltica, sin embargo, la estabilidad de los indicadores de desempeño empeorará.

Hassan et al., (2021) realizó la tesis “Study on the influence of aggregate strength and shape on the performance of asphalt mixture” desarrollada por, se plantearon como **objetivo** estudio obtener las gradaciones minerales con las mismas combinaciones de volumen para los tres áridos diferentes (granito, diabasa y caliza). Se utilizó el **método** de diseño de relleno de vacíos de áridos gruesos (CAVF) para diseñar la gradación y garantizar la estructura densa del esqueleto; a través de los **resultados** de Marshall, ahuellamiento y módulo de rigidez a la flexión, se indicó que el método de llenado de vacíos de agregado grueso podría obtener gradaciones minerales con las mismas combinaciones de volumen para los tres agregados. El valor de aplastamiento, el valor de los ángulos de pérdida, la redondez y el índice de descamación tienen una excelente relación con las características de contacto, lo que demuestra que la resistencia y la forma afectan significativamente la estructura de la mezcla asfáltica. Se **concluyó** que, existe una relación lineal débil entre los parámetros de resistencia y las propiedades mecánicas porque la diabasa es tres veces más fuerte que el granito, pero tiene un rendimiento más bajo, lo que demuestra que la resistencia del agregado tiene un efecto mínimo en el rendimiento y la estabilidad de la mezcla asfáltica.

Cui et al. (2018) tuvieron como **objetivo** evaluar el efecto de una única variable morfológica sobre la adherencia asfalto-agregado y las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica. **Metodológicamente**, se utilizó el Sistema de Imágenes de Agregados (AIMS) para cuantificar las características morfológicas de los áridos, mediante la combinación de la tecnología de análisis de imágenes de agregados y los métodos de análisis de imágenes, se evaluó la relación entre una única variable morfológica del agregado y el comportamiento de la mezcla asfáltica para un ensayo con calizas y basaltos de 9,5 a 13,2 grados. Los **resultados** muestran que existen estrechas relaciones lineales entre la angularidad o esfericidad del

agregado y la propiedad adhesiva del agregado de asfalto. También se encontró que la relación entre la angularidad o esfericidad del agregado y las propiedades mecánicas como la estabilidad Marshall y la resistencia a la flexión tiende a aumentar primero y luego a disminuir, **concluyendo** que existe una "angularidad y esfericidad óptimas" para la estabilidad Marshall y la resistencia a la flexión.

Aragão et al. (2016) se plantearon como **objetivo** evaluar los efectos de las propiedades morfológicas de las partículas de los áridos en el comportamiento mecánico global de las mezclas asfálticas; como **metodología** utilizaron en su tesis dos agregados con características diferentes: grava redonda de río y gneis triturado, diseñando seis mezclas asfálticas con diferentes proporciones de grava y gneis triturado según la metodología Superpave, evaluadas en ensayos de comportamiento mecánico y utilizando un moderno sistema de análisis de imágenes, AIMS 2; los **resultados** indicaron que las características morfológicas de los agregados, especialmente las de partículas gruesas, están fuertemente correlacionadas con la resistencia a la formación de surcos en las mezclas asfálticas; también **concluyeron** que, la textura de la superficie del agregado está altamente correlacionada con el desempeño de las mezclas.

Cala y Caro (2022), Respecto a la composición química de los agregados, el estudio "Predictive quantitative model for assessing the asphalt-aggregate adhesion quality based on aggregate chemistry" realizado por se plantearon como **objetivo** formular un modelo predictivo de susceptibilidad a la humedad de materiales de la mezcla de asfalto en caliente (HMA) basado en la química de los áridos para rocas silíceas y calcáreas; **metodológicamente** se presentó un modelo empírico predictivo del daño por humedad en sistemas de agregados asfálticos basado en la química de los agregados, que incluyó siete agregados silíceos y dos agregados calcáreos y una fuente de ligante asfáltico; los **resultados** experimentales: carga máxima en la falla, F_{max} , trabajo de fractura, W_f y el área de falla adhesiva en la superficie del agregado $A_{\%}$ permitieron **concluir** que, para los agregados silíceos, el contenido de SiO_2 aumenta la susceptibilidad a la humedad mientras que, se observó lo contrario para Fe_2O_3 y CaO , mientras que para los

agregados calcáreos, la susceptibilidad a la humedad aumenta con su contenido de SiO_2 . En un estudio precedente con tres litologías de amplio espectro (cuarcita, granodiorita y serpentinita), se planteó como **objetivo** identificar los componentes químicos de los áridos que afectan a la susceptibilidad a la humedad de los sistemas asfalto-árido, mediante una nueva metodología de ensayo que ofrece algunas mejoras respecto a trabajos anteriores; las muestras de asfalto-agregado fabricadas con estas litologías, **metodológicamente** se ensayaron mediante un nuevo experimento de arranque en seco y después de 1, 3 y 7 días de estar sumergidas en agua; los **resultados** muestran que las rocas de composición máfica (ej. serpentinita) tienen mejor resistencia al daño por humedad que las rocas félsicas (ej. cuarcita y granodiorita), y que ciertos óxidos agregados específicos promueven o previenen la degradación por humedad en estos sistemas.

Qian et al. (2021) estudió la gradación del material también ha sido reportado como variable incidente en las mezclas asfálticas; tal como cita el estudio “Effect of Aggregate Gradation and Morphology on Porous Asphalt Mixture Performance” realizada por se plantearon el **objetivo** de evaluar los efectos de la gradación y la morfología de los áridos sobre las propiedades mecánicas y las características volumétricas de las mezclas asfálticas porosas, utilizando las **metodologías** de la valoración de los vacíos de aire, la resistencia al cizallamiento, la estabilidad Marshall, la resistencia a la tracción indirecta y la micromorfología después de variar los porcentajes de áridos a través de tamices de 9,5, 4,75, 2,36 y 1,18 mm y utilizando dos tipos de fuentes de áridos; de acuerdo con los **resultados**, la gradación de los áridos tuvo un impacto sustancial en el rendimiento de las combinaciones de asfalto poroso (PA), los porcentajes de áridos que pasaban los tamices de 9,5, 4,75 y 2,36 mm y los correspondientes vacíos de aire mezclados tenían una buena relación lineal. El aumento de la cantidad de partículas de árido de 4,75-9,5 mm en las mezclas PA tuvo poco efecto sobre la resistencia a la humedad. La proporción de fracciones de áridos de 2,36-4,75 mm fue el elemento que más influyó en los parámetros mecánicos y volumétricos de las mezclas de PA. **Concluyeron** que, a medida que aumenta el

valor de esfericidad de los áridos, también lo hace la resistencia a la deformación permanente y la resistencia a la humedad.

García et al. (2020) se propusieron el **objetivo** de comprender mejor la interrelación entre la gradación de los áridos, las propiedades volumétricas y el comportamiento mecánico de las mezclas Superpave, utilizando una **metodología** para dos diseños de mezcla de tipo Superpave, con un tamaño máximo nominal de árido de 12,5 mm; los huecos en los áridos minerales se utilizaron para analizar las cualidades volumétricas de las mezclas, mientras que los ensayos de Hamburgo, tracción de ruedas y tensión indirecta se utilizaron para medir el potencial de desgaste y la resistencia de las mezclas; **concluyeron** que, en algunos casos, las propiedades mecánicas de las mezclas no estaban estrechamente relacionadas con los cambios en los parámetros de gradación de Bailey, el aumento de la fracción gruesa incrementó los vacíos en el agregado mineral (VMA) pero no afectó significativamente a la resistencia y estabilidad de la mezcla. Por el contrario, el aumento de la fracción fina dio lugar a un menor VMA, una mayor resistencia a la tracción indirecta (ITS) y valores similares de índice normalizado de resistencia al desgaste (NRRI).

Kusumawardani y Wong, (2020a), cuando se plantearon el **objetivo** de analizar y desarrollar la estructura de empaquetamiento de agregados en la mezcla asfáltica porosa (PAM) mediante la aplicación de un método de elementos discretos (DEM) mejorado, establecieron la metodología de modelos DEM para mezclas de áridos no ligados y PAM con el fin de observar las condiciones de empaquetamiento de los áridos de PAM. Se realizaron varias pruebas de laboratorio para validar los resultados de la simulación comparando los parámetros de simulación con las mediciones de laboratorio; los **resultados** indicaron que la fracción de áridos de 6,3-9,5mm no tiene un efecto significativo en la estructura de empaquetamiento de los áridos; sin embargo, la fracción de 2,36-4,75 mm tiene una influencia significativa. La fracción de 2,36-4,75 mm es propensa a rellenar vacíos en el empaquetamiento de los áridos o alteran la reorientación del entrelazamiento piedra-piedra de la fracción más gruesa. **Concluyeron** que, las mediciones

de porosidad en simulaciones DEM se correlacionan con las mediciones de laboratorio, y la calibración puede conciliar ambos conjuntos de valores. La porosidad se asocia estrechamente con la permeabilidad, sirviendo como indicador de la calidad del empaquetamiento de la PAM en términos de rendimiento de drenaje. La proporción de la fracción de 2,36-4,75 mm influye significativamente en las estructuras de empaquetamiento de los agregados, con consecuencias en las propiedades mecánicas de la PAM.

Aroca (2019) hizo un estudio sobre los parámetros como la rugosidad fueron investigados en Colombia por en su trabajo “Influencia de la rugosidad superficial de los áridos en la calidad de adherencia de los sistemas asfalto-árido”, cuyo **objetivo** fue evaluar el efecto de la rugosidad de la superficie de los áridos sobre la calidad de la adherencia y las características de los sistemas asfalto-árido. La **metodología** consistió en utilizar un micrómetro modificado para preparar una película delgada de asfalto de 20 μm entre un muñón metálico y un núcleo cilíndrico de roca con geometría controlada. Se eligieron tres litologías (cuarcita, mármol y serpentinita), se crearon especímenes de asfalto-agregado y se evaluaron en condiciones secas utilizando un ensayo de despegue mediante una prensa hidráulica; los **resultados** obtenidos a partir de la prueba mecánica fueron la curva de Carga [N] vs. Tiempo [s] y la Carga máxima de falla F_{max} [N]; en función a estos resultados, se **concluyó** que muestran una tendencia en la que algunas rocas con mayor rugosidad en la superficie tienen un aumento en la calidad de la adhesión debido a un aumento en el área de contacto entre la superficie del agregado y el ligante asfáltico.

Valdés et al. (2019) investigaron sobre el tipo de agregado que también fue materia de estudio en Chile “Efecto del tipo de árido en la durabilidad a fatiga de las mezclas asfálticas”, quienes plantearon el **objetivo** de evaluar la influencia del tipo de árido en la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas para tres tipos de áridos con características físicas, morfológicas y mineralógicas diferentes. El comportamiento a fatiga de las mezclas asfálticas se evaluó utilizando un **método** de ensayo normalizado y un nuevo procedimiento de ensayo (EBADE®), en el que se evaluó la energía disipada en la fractura de las mezclas asfálticas. Presentaron los

resultados del efecto de las propiedades de forma y textura de los áridos sobre la durabilidad de la estructura del pavimento, definida por un análisis de vida a fatiga obtenido mediante una metodología de diseño mecanístico-empírico; utilizando dos áridos de río (AF1 y AF2) y un árido de cantera (AC), se modificaron para obtener una gradación de árido semidenso y para crear los áridos, se emplearon dos técnicas de trituración distintas. En base a los resultados, se **concluyó** demostrando una relación sustancial entre la forma y textura de los áridos finos y el comportamiento a fatiga de las combinaciones; también se demostró que la forma y textura del árido fino influyen en la capacidad de las mezclas asfálticas para dispersar la energía durante los daños por fatiga.

Conde y Palomino (2022) realizaron el estudio “Incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos”, establecieron el **objetivo** de determinar la incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos, basándose en investigaciones pasadas de diferentes fuentes bibliográficas; analizaron cómo la calidad de los agregados afecta las características mecánicas de las mezclas asfálticas, incluyendo su durabilidad, trabajabilidad, estabilidad, impermeabilidad, flexibilidad, resistencia al deslizamiento y resistencia a la fatiga. Se empleó una **metodología** inductiva, permitiendo obtener conclusiones generales basadas en el análisis de diversas fuentes bibliográficas. Los **resultados** confirmaron todas las hipótesis planteadas. Se observó que el peso específico y la absorción influyen en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga, al afectar la relación entre los agregados y la formación de la película alrededor de ellos. La angularidad y textura impactan en la estabilidad y flexibilidad, dado que las partículas angulosas y lisas se complementan llenando los espacios vacíos. La granulometría afecta la durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento debido a las variaciones en los porcentajes de agregados finos y gruesos, lo que altera el contenido óptimo de asfalto en el diseño y la textura de la capa de rodadura, influenciando así las propiedades mencionadas anteriormente. **Concluyeron** que, la calidad de los agregados incide directamente en relación

con las hipótesis planteadas, ejerciendo un impacto significativo en las diferentes propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

Torres y Yacila (2022) en su tesis “Diseño de mezclas de material granular de tres canteras para optimizar sus propiedades en pavimentos, Nuevo Chimbote 2020”, cuyo **objetivo** principal fue mejorar las propiedades del material granular utilizado en pavimentos mediante la formulación de mezclas provenientes de tres canteras distintas: La Sorpresa, San Pedrito y Cambio Puente, llevaron una tesis con **metodología** experimental aplicada para evaluar las características físicas, químicas y mecánicas del material granular, con el objetivo de incrementar su idoneidad para su uso en pavimentación. La evaluación del material granular se realizó siguiendo los criterios establecidos en las normas técnicas NTP y el MTC. Inicialmente, los **resultados** obtenidos de cada cantera no cumplieron con los requisitos necesarios para ser considerado material base o subbase. Sin embargo, al combinar el material granular de las canteras Cambio Puente (47%) - San Pedrito (47%) y agregando piedra triturada de la cantera La Sorpresa (6%), se logró alcanzar un valor de CBR (California Bearing Ratio) entre 94% y 100% de la MDS (Máxima Densidad Seca) para el material de base, y un CBR de entre 81% y 95% de la MDS para el material de subbase. Estos resultados permitieron **concluir** que, esta combinación específica de materiales es óptima para ser utilizada como material de base y subbase en pavimentos.

Gómez y Peña (2020) en su tesis “Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica en frío, elaborado con agregados reciclados y emulsión asfáltica de rotura lenta, en referencia a una mezcla patrón, Cusco 2019”, plantearon el **objetivo** de determinar los valores de las magnitudes de las propiedades físico- mecánicas de una mezcla asfáltica en frío, elaborado con agregados reciclados y emulsión asfáltica de rotura lenta comparada con una mezcla patrón, mediante la determinación de las propiedades físico-mecánicas de un aglomerado asfáltico diseñado con áridos reciclados en comparación con un aglomerado estándar. Se llevaron a cabo cuatro ensayos físico-mecánicos para analizar la

estabilidad y fluidez, resistencia a la inmersión-compresión, tracción indirecta y módulo de rigidez. Los áridos y la emulsión asfáltica fueron sometidos a ensayos de control de calidad. Se utilizaron **métodos** basados en el Manual de Ensayos de Materiales EM 2000 y el Manual de Carreteras Especificaciones Generales de Construcción EG-2013. Los **resultados** mostraron que la estabilidad y flujo cumplieron con los parámetros mínimos, mientras que la resistencia a la compresión-inmersión fue menor al mínimo requerido. La resistencia a la tracción indirecta y el módulo de rigidez cumplieron con los criterios establecidos. En base a los resultados, **concluyeron** que, no se demuestra la hipótesis general en razón a que la mayoría de los ensayos físico – mecánicos dan resultados favorables o bien a la mezcla asfáltica patrón o a la mezcla con agregado reciclado; por ello al establecer la diferencia entre la mezcla con agregado reciclado y la mezcla patrón esta diferencia solo es de 0.1%; además de los resultados obtenidos no todos se encuentran dentro de los mínimos requeridos indicados en la normativa del manual EG-2013, IDU e INVIAS.

Arellano y Cáceres (2018) con el estudio “Importancia de la evaluación a las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente a más de 3000 msnm para el proyecto carretera desvío Imperial-Pampas”, se propuso como **objetivo** un conjunto de lineamientos para la construcción de pavimentos flexibles utilizando mezcla asfáltica en caliente (MAC) en altitudes superiores a los 3.000 metros sobre el nivel del mar. **Metodológicamente**, se siguió minuciosamente el Proyecto Carretera de Desvío Imperial-Pampas en el distrito de Tayacaja de la provincia de Huancavelica, lo que permitió examinar los desafíos encontrados en cada etapa del proceso de construcción de la capa asfáltica. Estos desafíos fueron causados predominantemente por las condiciones climáticas y geográficas únicas del área. Los **resultados** obtenidos derivaron de los parámetros de Marshall (% de cemento asfáltico, densidad, vacíos, flujo, estabilidad e índice de rigidez), así como de los resultados post asfaltado (textura, espesor, rugosidad, compactación y reflectometría). El estudio **concluyó** que es importante evaluar periódicamente la calidad de los agregados provenientes de depósitos coluviales a través de

pruebas como granulometría, arena equivalente y, lo que es más importante, peso específico, para determinar el porcentaje de absorción de agregados que impacta significativamente en el desempeño de la mezcla asfáltica.

Neri (2018) en su trabajo “Calidad del material de base y subbase para vías pavimentadas, en tres canteras de la provincia de Trujillo, 2018” desarrollado por, tuvo por **objetivo** examinar la calidad de los materiales para base y subbase de vías pavimentadas suministrados por canteras de la zona de Trujillo. En cuanto a la **metodología**, se estudiaron tres canteras: Los Mellizos, Oasis y Lekersa, buscando escenarios que restringen el excelente desempeño de los pavimentos, como el uso de agregados de baja calidad. Las muestras extraídas de cada cantera fueron en la proporción 1:1 (grava:arena de 12") para material de subbase y en la proporción 1:1 (grava : arena de 34") para material de base, de acuerdo a las secciones 402 y 403 del Manual de Carreteras - EG 2013. Para evaluar los criterios de calidad se utilizaron los **resultados** de los ensayos de laboratorio físicos, mecánicos y químicos, llevando a cabo diez tipos diferentes de pruebas experimentales; los estudios finales permitieron **concluir** que, las canteras de Lekersa, Los Mellizos y Oasis son apropiadas para su uso en material de subbase, ya que produjeron resultados comparables, conformes en un 71% de los siete criterios evaluados. Los áridos para material de base no cumplen los requisitos de calidad porque las canteras de Lekersa y Oasis no cumplen el 44% de los nueve parámetros y la cantera de Los Mellizos no cumple el 56% de los parámetros. Por último, las canteras Lekersa y Oasis ofrecen materiales de mejor calidad porque cumplen por una diferencia mínima con respecto a la cantera Los Mellizos.

Ríos y Boza (2022) a través de su tesis “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” se plantearon como **objetivo** el análisis de la granulometría de los agregados y su impacto en las mezclas asfálticas, empleando una **metodología** con dos tipos de granulometría, MAC-02 y Superpave, y se llevó a cabo una comparación exhaustiva de las propiedades físicas,

mecánicas y volumétricas mediante la metodología Marshall. Los agregados se sometieron a ensayos de caracterización siguiendo el Manual EM-2016 del MTC para ambas granulometrías, y en general, los resultados de los ensayos fueron satisfactorios, con excepción del ensayo de adherencia y absorción del agregado fino. Luego, enfocándose en los **resultados** del ensayo Marshall a través de moldes de asfalto para cada tipo de granulometría: MAC-02 y Superpave, determinaron el porcentaje óptimo de asfalto y las dimensiones óptimas de la mezcla asfáltica en caliente, así como la estabilidad, el flujo, la relación estabilidad/flujo y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral. Los hallazgos permitieron **concluir** que, la estabilidad y la relación estabilidad/flujo de la mezcla asfáltica en caliente con granulometría Superpave mostraron cambios significativos en comparación con la mezcla asfáltica en caliente con granulometría MAC-02. Sin embargo, en el caso del flujo y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral de la mezcla asfáltica en caliente con Superpave, no muestra cambios significativos en comparación con los valores obtenidos con MAC-02.

Roldan (2022) en su tesis “Determinación de las propiedades geomecánicas del agregado de la cuenca de Pachachaca y su incidencia en la resistencia a la compresión y flexión en concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento portland tipo I en el distrito de Abancay- 2019”, planteó el **objetivo** de ver cómo las propiedades geomecánicas del agregado en la cuenca de Pachachaca afectan la resistencia a la compresión y flexión del concreto con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, mediante una **metodología** no experimental correlacional y utilizando la muestra de tres sectores típicos de mayor producción de agregados en la cuenca de Pachachaca (arena gruesa y piedra partida) se ensayaron a compresión y flexión. Los **resultados** mostraron que las propiedades geomecánicas de los áridos tienen un impacto sustancial en las características del hormigón, permitiéndole superar la resistencia necesaria en el diseño. Además, los resultados revelaron que la abrasión de los áridos tiene un impacto sustancial en la resistencia a compresión y flexión del hormigón, lo que está directamente relacionado con la composición geológica del árido. Se **concluye** que la resistencia a la compresión y flexión del concreto está relacionada directamente

con las características de los agregados, como la granulometría, el peso unitario, la gravedad específica y la absorción. Además, se observa una relación inversa entre la abrasión de los agregados y la resistencia del concreto.

Ferrel y Moreano (2019) en su trabajo “Evaluación de la calidad de los agregados provenientes de las canteras en el sector de Pachachaca - Abancay y su influencia en la resistencia del concreto empleado en obras civiles de Abancay-Apurímac, 2018”; plantearon como **objetivo** valorar la calidad de los agregados de las canteras del sector Pachachaca, sobre la resistencia del concreto para obras. Como parte de la **metodología** se procedió a determinar las características físicas, tales como granulometría de los agregados gruesos y finos, contenido de humedad, peso específico, absorción y abrasión. Además, de análisis químicos para evaluar el pH, los sulfatos, las sales solubles y los cloruros presentes en las muestras, en base a estos resultados se diseñaron las mezclas con los métodos: módulo de finura, Walker y ACI. Segregando el segundo y tercer método, se procedió a preparar las muestras de control, para someter a pruebas de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. De los **resultados** encontrados, se analizó el valor de pH de los agregados tanto gruesos como finos, encontrándose que no deberían presentar un valor menor a 7, los ensayos muestran los valores de sales solubles encontrados en cada cantera, tanto para los agregados gruesos como para los finos, incluyendo información sobre su distribución granulométrica y contenido de sulfatos de magnesio y sodio. Se **concluyó** que, los agregados extraídos de las canteras del sector Pachachaca-Abancay contribuyen significativamente a las propiedades mecánicas del concreto utilizado en las obras civiles de Abancay. Sin embargo, el agregado fino en su estado natural no cumple con los límites máximos y mínimos establecidos por las normas.

Cuellar (2019) se propusieron el **objetivo** de evaluar el impacto de las características de los agregados de las canteras de la cuenca del río Vilcabamba en el uso del concreto en proyectos de construcción en la ciudad de Chuquibambilla. Este estudio empleó una **metodología** con enfoque básico, explicativo y correlacional causal con un diseño descriptivo

explicativo. La población de estudio estuvo constituida por los materiales encontrados en las canteras ubicadas en la cuenca del río Vilcabamba: Calichin, Chakawayq'u, y los arenales artificiales de la “Familia Infantes”. Los **resultados** de la tesis confirmaron una influencia significativa de las características de los agregados en el uso del hormigón, representada por un alto coeficiente de Pearson de 0,765. Por ende, **concluyeron** que la calidad de los agregados afecta directamente el desempeño del concreto en los proyectos de construcción, lo que confirmó la hipótesis.

Olarte (2017) a través del “Estudio de la calidad de los agregados de las principales canteras de la ciudad de Andahuaylas y su influencia en la resistencia del concreto empleado en la construcción de obras civiles”, planteó el **objetivo** de determinar la influencia de la calidad de los agregados de la ciudad de Andahuaylas en la construcción de obras civiles, con tres canteras: Altamirano, Santa Lucía y Espinoza; a través de una **metodología** deductiva. Las muestras recolectadas se sometieron a diversas pruebas para determinar sus propiedades mecánicas. Posteriormente, se empleó el método A.C.I, basado en la norma ASTM C33, para calcular las proporciones de mezcla de concreto adecuadas para diferentes resistencias a la compresión y asentamientos. Usando estas proporciones, se produjeron especímenes de concreto con diferentes resistencias a la compresión y asentamientos que oscilaron entre 6 y 9 cm. Finalmente, estos cilindros fueron sometidos a pruebas de compresión para conocer su respectiva resistencia y verificar el cumplimiento de los requisitos de dosificación especificados. En cuanto a los **resultados**, los valores para el módulo de finura de la Cantera Altamirano fueron 2.94, mientras para las Canteras Espinoza y Santa Lucía se obtuvieron valores de 3.03 y 3.03, respectivamente. En relación al análisis químico, los valores obtenidos para el pH del agregado fino de la Cantera Santa Lucía, la Cantera Espinoza y la Cantera Altamirano fueron 40.5%, 39.5% y 40.5%, respectivamente; en términos generales, los agregados de la Cantera Altamirano cumplieron las normas establecidas y son aptos para ser utilizados en la elaboración de concreto. Las **conclusiones** para el agregado grueso indican que, su curva granulométrica no se encuentra

dentro del límite establecido según normativa, ya que las partículas son un tanto gruesas y uniformes; en cuanto al agregado fino, se deduce a partir de la gráfica de granulometría que cumple con los límites establecidos para este ensayo. Aunque tiene una porción un poco baja de partículas retenidas en el tamiz #8, además, se obtiene un módulo de finura de 2.95.

3.2. Bases Teóricas

A continuación, se presentan teorías que sustentan la tesis en referencia a los materiales granulares y las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frío, teniendo en cuenta su comportamiento en las obras civiles sobre pavimentos.

- **Material granular**

El material granular se considera como el elemento básico y fundamental para obtener diferentes mezclas en la construcción de obras civiles, además, desempeña un papel esencial en la estructura y funcionamiento de los pavimentos flexibles. Comúnmente compuesto por una variedad de agregados pétreos como grava y arena, mezclados con materiales más finos como polvo de piedra o arena triturada, este material ofrece resistencia a la compresión y estabilidad estructural al pavimento. Al distribuir uniformemente las cargas del tráfico a lo largo de las capas de base y subbase, los agregados pétreos contribuyen a una distribución equilibrada de las tensiones. Además, facilitan un drenaje efectivo, previniendo la acumulación de agua que podría debilitar la base del pavimento y provocar deformaciones.

La elección y calidad del material granular son importantes en el diseño y construcción de pavimentos flexibles, ya que influyen directamente en su durabilidad y vida útil. Los ingenieros evalúan una serie de factores al seleccionar este material, incluida su disponibilidad local, resistencia a la abrasión, capacidad de drenaje y compatibilidad con otros componentes del pavimento. Se realizan exhaustivas pruebas de laboratorio y campo para evaluar las propiedades mecánicas y de ingeniería del material granular, garantizando que cumpla con los estándares requeridos de resistencia, estabilidad y capacidad de soporte, asegurando así una adecuada

resistencia a las cargas del tráfico y a las condiciones ambientales durante toda la vida útil del pavimento considerado como obra civil (Speight, 2015).

Así mismo, Speight (2015) menciona que:

El material granular se divide en tres tipos según el tamaño de las partículas: (i) agregado grueso, (ii) agregado fino y (iii) relleno mineral. El agregado grueso se define como aquel cuyas partículas quedan retenidas en el tamiz de 2,36 mm, mientras que el agregado fino se define como aquel cuyas partículas pasan por el tamiz de 2,36 mm, pero quedan retenidas en el tamiz de 0,075 mm. Por otro lado, el relleno mineral se define como la parte del agregado que pasa por un tamiz de 0,075 mm (ASTM D242) y, por consiguiente, es un material muy fino y también se denomina polvo mineral o polvo de roca. (pp. 366-368)

A continuación, se caracteriza los agregados de acuerdo a sus propiedades:

- **Propiedades físicas del material granular.**

Estas cualidades no siempre son indicativas de la resistencia o rigidez del material, pero ayudan a decidir si se toman prestados o se utilizan materiales existentes, se puede determinar sus propiedades físicas mediante (Islam y Tarefder, 2020):

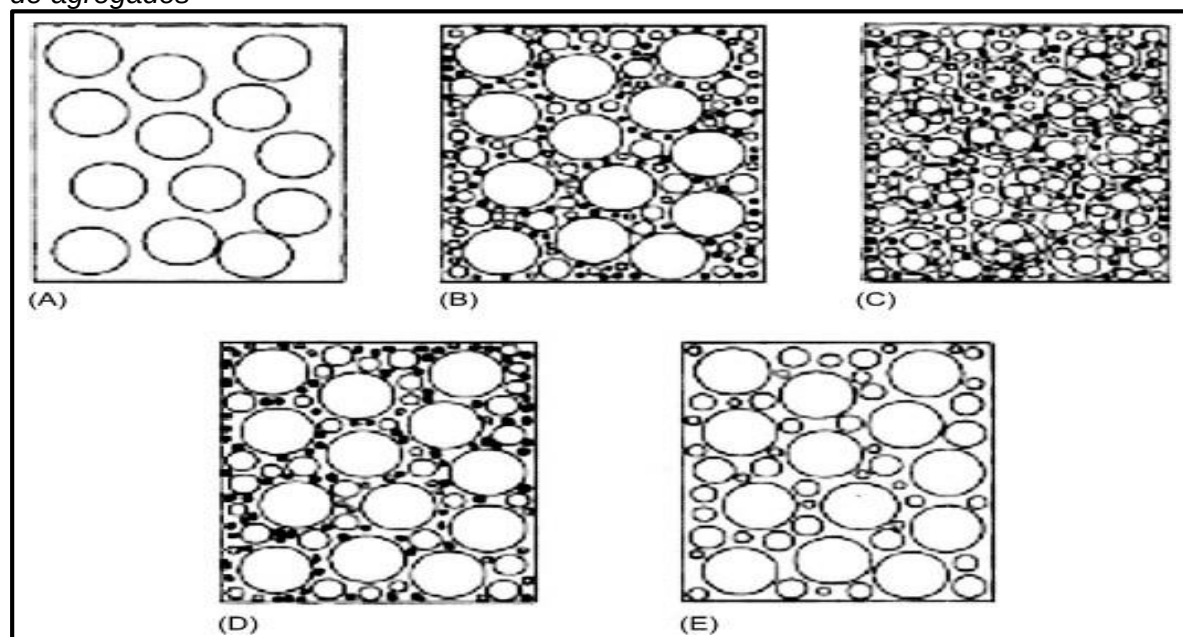
- Análisis granulométrico
- Absorción y gravedad específica
- Partículas planas y alargadas
- Angulosidad del agregado fino
- Angulosidad del agregado grueso
- Abrasión Los Ángeles (LA)
- Peso específico y absorción

Análisis granulométrico. La proporción de cada tamaño en una mezcla viene dada por la gradación de los agregados. Suele indicarse como la proporción de mezcla de agregados que

pasa por tamices con aberturas estándar; los tamices que se suelen utilizar para determinar la gradación son los siguientes: 2 plg, n° 4, n° 8, n° 16, n° 30, n° 50, n° 100 y n° 200. El porcentaje de agregado que pasa un tamaño de tamiz se representa en la ordenada en una escala aritmética, y el tamaño de partícula se traza en la abscisa en una escala logarítmica para representar la gradación del agregado. El tamaño máximo, según ASTM C 125, es el tamiz más pequeño a través del cual pasa el 100% de las partículas de la muestra de agregado, mientras que el tamaño máximo nominal es el tamiz más grande que retiene algunas de las partículas de agregado, en la figura 4 puede observarse una representación útil de los diferentes tipos de granulometría. El análisis granulométrico puede realizarse en seco (ASTM C 136) o en húmedo (ASTM C 117). El módulo de finura, que refleja la finura relativa de la arena, se utiliza para determinar lo fina o gruesa que es la arena; en una prueba de tamizado de arena, se define como la centésima parte del total de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices estándar (n.º 4, 8, 16, 30, 50 y 100). Cuanto más fina sea la arena, menor será el valor del módulo de finura (Papagiannakis y Masad, 2008).

Figura 1

Representaciones esquemáticas de las gradaciones de agregados en un conjunto de partículas de agregados

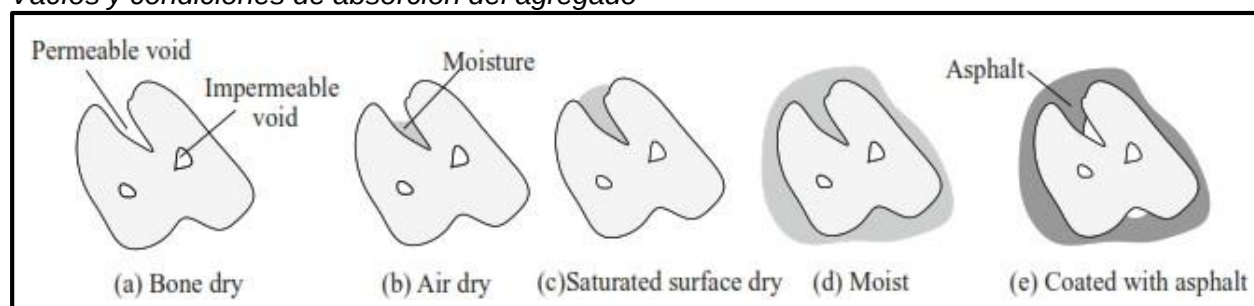


Nota. (A) tamaño uniforme, (B) granulometría continua, (C) sustitución de tamaños pequeños por tamaños grandes, (D) agregado clasificado por huecos y (E) clasificación sin finos. Adaptado de Mindess S, Young JF, Darwin D. Concrete. New Jersey: Prentice Hall; 2003, in Alexander MG, Mindess S. Aggregates in concrete. Modern concrete technology 13. Abingdon, UK: Taylor & Francis; 2005 [448 pp.].

Absorción y Gravedad Específica. Los agregados pueden absorber agua y asfalto en espacios superficiales o de permeabilidad, en el caso del hormigón asfáltico, el asfalto absorbido puede ayudar a reforzar la unión entre el asfalto y el agregado; sin embargo, una absorción excesiva exige una cantidad considerable de asfalto, lo que eleva el coste de la mezcla; por tanto, se recomiendan agregados de baja absorción para el hormigón asfáltico (Dong et al., 2023).

Figura 2

Vacíos y condiciones de absorción del agregado



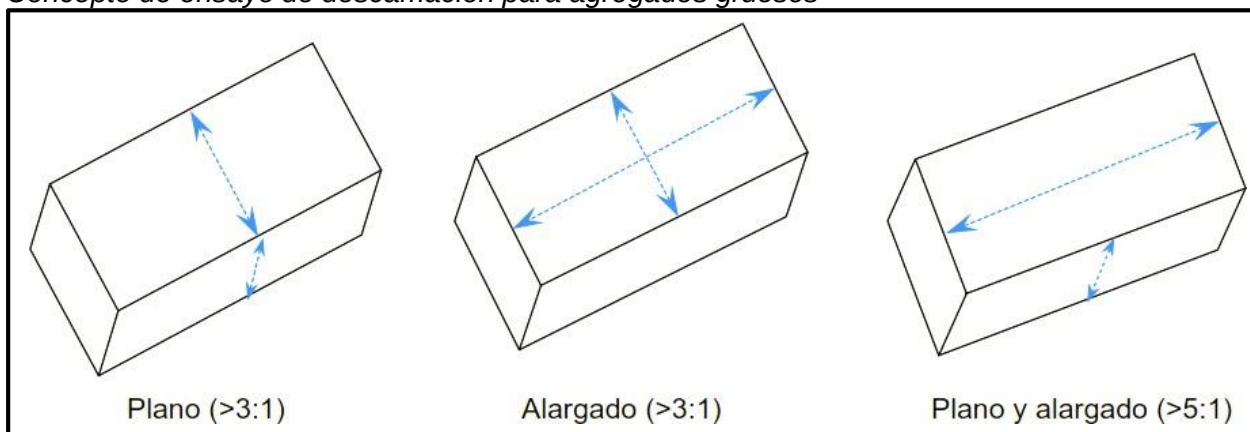
Nota. En un estado deshidratado (a) la partícula de árido no tiene humedad; en un estado de secado al aire (b) la partícula de árido tiene algo de humedad, pero no está saturada; en un estado de superficie saturada-seca (c), los vacíos de permeabilidad del árido se llenan de agua mientras que la mayor parte de la superficie de la partícula de árido permanece seca; en un ambiente húmedo (d), la partícula de agregado contiene agua en el área superficial en exceso y la quinta condición de absorción (e) sólo se produce en la mezcla asfáltica, en la que sólo una fracción de los huecos permeables al agua de la partícula de árido se rellena con asfalto. Adaptado de Mamlouk & Zaniewski (2016).

Respecto a la gravedad específica, Papagiannakis y Masad (2008) indican diferentes medidas: peso específico aparente, que es la relación entre el peso del agregado seco y el peso del agua cuyo volumen es igual al volumen sólido del agregado, excluyendo sus poros permeables. El peso específico, es la relación entre el peso del agregado seco y el peso del agua con un volumen igual al volumen del agregado, incluidos sus poros permeables e impermeables. El peso específico a granel - saturado, superficie seca; es la relación entre el peso del agregado, incluyendo el peso del agua en sus huecos permeables y el peso de un volumen igual de agua.

Partículas planas y alargadas. De acuerdo a la ASTM D 4791, son un requisito consensuado de las propiedades de los agregados en el proceso de diseño de mezclas asfálticas Superpave y se realiza en agregados gruesos mayores que el tamiz No. 4 (4.75 mm) y se define de acuerdo a la Figura 6 (Islam y Tarefder, 2020):

Figura 3

Concepto de ensayo de descamación para agregados gruesos



Nota. Adaptado de Islam & Tarefder (2020).

- Una partícula plana se define como aquella en la que la relación entre la dimensión media y la dimensión más pequeña de la partícula es superior a 3:1.
- Una partícula alargada se define como aquella en la que la relación entre la dimensión mayor y la dimensión media de la partícula es superior a 3:1.
- Las partículas se clasifican como planas y alargadas si la relación entre la dimensión mayor y la menor es superior a 5:1.

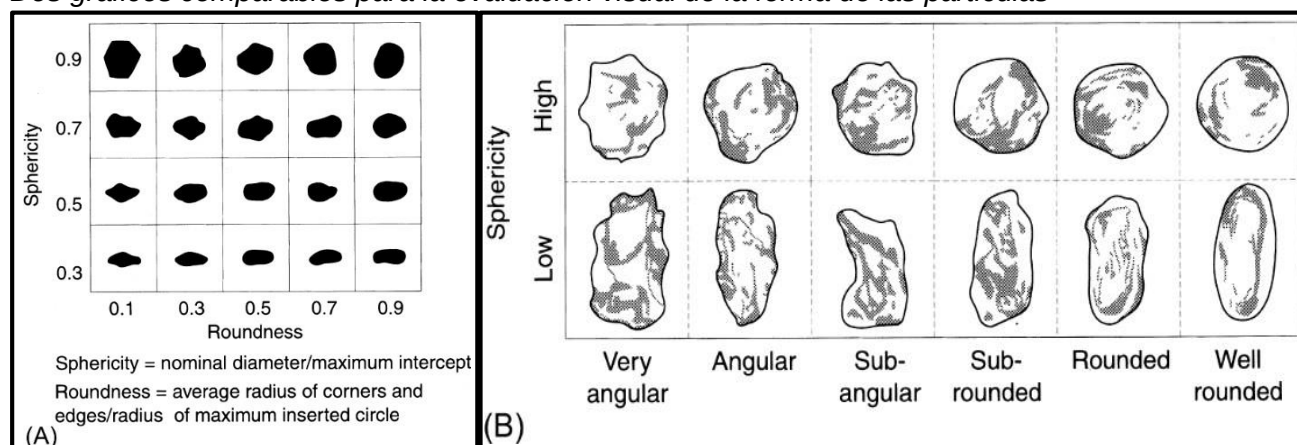
Las partículas alargadas no son deseables porque tienden a romperse durante la construcción y el tráfico. El porcentaje máximo de partículas planas y alargadas suele ser del 10% en peso para una carga total equivalente por eje de 0,3 millones o más.

Angulosidad. El contenido de vacíos de un agregado compactado depende en gran medida de la redondez (o angulosidad) de las partículas que lo componen, de modo que el porcentaje de huecos en una prueba normalizada puede utilizarse como indicador cuantitativo de la angulosidad de las partículas. Una grava de playa de tamaño único y bien redondeada

presenta un contenido de huecos del 33%, y éste se ha fijado como valor de referencia cero para el "número de angulosidad", expresado por la proporción de huecos superior al 33%; pueden alcanzarse cifras de angulosidad de hasta aproximadamente 11 para el material de roca triturada más anguloso. En el diseño moderno de mezclas, se emplean principios de empaquetamiento y miden la densidad aparente no compactada, combinando las influencias de la forma y la clasificación (Sims et al., 2019).

Figura 4

Dos gráficos comparables para la evaluación visual de la forma de las partículas



Nota. (A) Derivado de mediciones de esfericidad y redondez y (B) basado en observaciones morfológicas. Adaptado de Krumbein WC, Sloss LL. *Stratigraphy and sedimentation*. 2nd ed. San Francisco, CA: WH Freeman & Co; 1963.

La angularidad del árido fino es también un requisito consensuado de las propiedades del árido en el proceso de diseño de mezclas asfálticas Superpave, definiéndose como el porcentaje de vacíos de aire presente en un agregado suelto compactado más pequeño que el tamiz N° 8 (2.38 mm). El valor mínimo requerido para la angularidad del agregado fino es una función del nivel de tráfico y la profundidad dentro del pavimento, un mayor contenido de huecos significa caras más fracturadas; el porcentaje mínimo de vacíos de aire en los áridos finos poco compactados suele ser del 40% al 45% en peso para una carga total equivalente por eje de 0,3 millones o más (Islam y Tarefder, 2020).

Mientras la angularidad de los áridos gruesos garantiza un alto grado de fricción interna de los áridos y de resistencia a las roderas de la mezcla, se define como el porcentaje en peso de áridos mayores que el tamiz N° 4 (4,75 mm) con una o más caras fracturadas; los valores mínimos requeridos para la angularidad del árido grueso están en función del nivel de tráfico y de la posición dentro del pavimento y varían entre el 50% y el 100% (Islam y Tarefder, 2020).

Contenido de arcilla. El contenido de arcilla es el porcentaje de material arcilloso contenido en la fracción de agregado más fino que el tamiz N° 4 (4,75 mm). Se mide siguiendo el protocolo de ensayo AASHTO T 176. Los valores requeridos de contenido de arcilla (40-50%) para el agregado fino se expresan como un equivalente mínimo de arena y están en función del nivel de tráfico; cuanto mayor sea el valor del equivalente de arena, más limpio (menos polvo fino o materiales diáfanos) será el agregado (Islam y Tarefder, 2020).

- **Propiedades mecánicas del material granular**

Las propiedades mecánicas de los agregados gruesos incluyen el valor de rotura, el valor de impacto, el valor de piedra pulida, el valor de abrasión y la solidez:

Valor de rotura. El valor de aplastamiento evalúa la resistencia de los agregados bajo esfuerzos de compresión aplicados progresivamente cuando se utilizan en pavimentos; generalmente, los agregados con un valor de trituración inferior al 10% son agregados fuertes, mientras que los que tienen un valor de trituración superior al 35% son agregados débiles (Dong et al., 2023).

Valor de impacto. El valor de impacto mide la resistencia de los agregados a golpes o impactos repentinos, especialmente cuando se utilizan en pavimentos; el porcentaje de paso por el tamiz de 2,36 mm del árido triturado se calcula como valor de impacto (Dong et al., 2023).

Valor de piedra pulida. El valor de piedra pulida (PSV) evalúa la resistencia de los agregados gruesos al pulido de los neumáticos de los vehículos para la capa de rodadura del pavimento. Un PSV elevado implica una alta resistencia al pulido de los neumáticos de los

vehículos; los agregados deben tener un PSV mayor cuando se utilizan en carreteras de alto nivel y lugares húmedos (Dong et al., 2023).

Valor de abrasión Los Ángeles. Es un ensayo de tenacidad que simula la resistencia del agregado grueso a la abrasión y a la degradación mecánica durante su manipulación, construcción y en servicio. Se mide el porcentaje de pérdida de materiales de una mezcla de agregados durante el ensayo de abrasión (AASHTO T 96). El ensayo se realiza sometiendo el agregado grueso y algunas esferas de acero en el interior de un gran tambor; después de hacer girar el tambor, se mide el peso del árido que queda retenido en un tamiz N.º 12 (1,70 mm) se resta del peso original para obtener un porcentaje del peso total del agregado que se ha descompuesto y ha atravesado el tamiz N.º 12 (1,70 mm). El resultado de la prueba es el porcentaje de pérdida, que es el porcentaje en peso de material grueso perdido como resultado de la degradación mecánica. Los valores máximos de pérdida suelen oscilar entre el 35% y el 45% aproximadamente (Islam y Tarefder, 2020).

Solidez. El ensayo de solidez estima la resistencia de los agregados a la intemperie en servicio, realizándose tanto en agregados gruesos como finos, midiendo el porcentaje de pérdida de materiales de una mezcla de agregados durante el ensayo de solidez con sulfato sódico o magnésico según la norma AASHTO T104. El resultado del ensayo es la pérdida porcentual total en varios intervalos de tamizado para un número determinado de ciclos, los valores máximos de pérdida oscilan entre el 10% y el 20% para cinco ciclos (Islam y Tarefder, 2020).

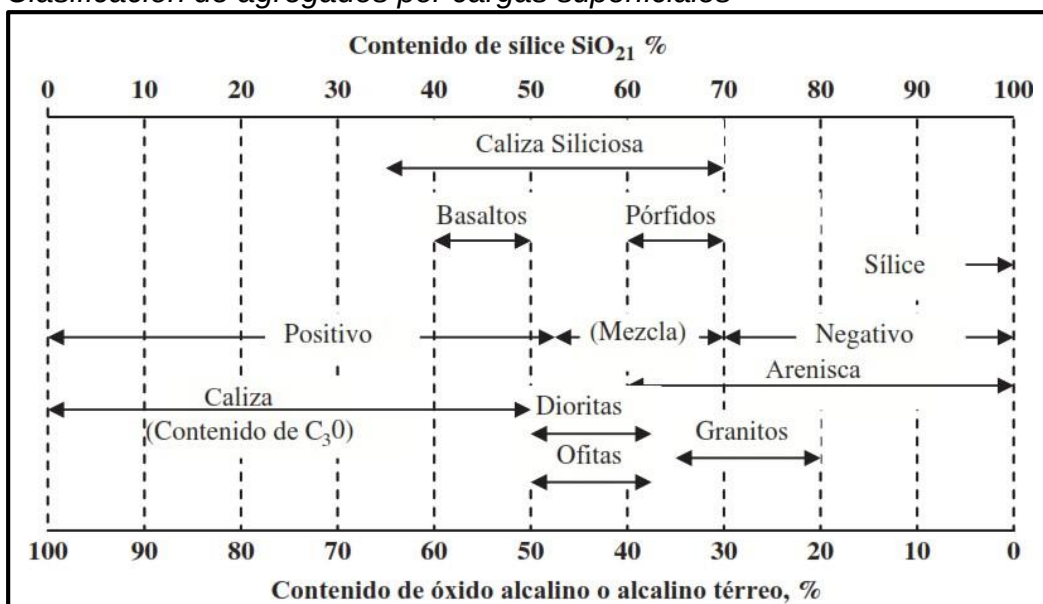
- **Propiedades químicas**

Las características químicas de los áridos determinan su adherencia al asfalto, una mala adherencia del asfalto a los áridos en presencia de humedad provoca descamación y raspado. Existen varias ideas que explican el proceso de adherencia asfalto-agregado. Los agregados vulnerables a la pérdida de adherencia en presencia de humedad suelen denominarse hidrófilos (con afinidad por el agua) o ácidos. Los agregados que tienen una fuerte adherencia con el asfalto

y muestran una buena resistencia a los daños causados por la humedad se denominan hidrófobos (que muestran aversión al agua) o básicos. La mayoría de los agregados silíceos (arenisca, granito, cuarzo y grava silícea) se cargan negativamente en presencia de agua, otros áridos, como la piedra caliza, tienen una carga positiva en presencia de agua. En la Figura 8 se ofrece una categorización de los áridos en función de su contenido en sílice o alcalinos.

Figura 5

Clasificación de agregados por cargas superficiales



Nota. Adaptado de Papagiannakis & Masad (2008).

- **Mezclas asfálticas**

La composición de las mezclas asfálticas consta de varios componentes, que incluyen agregados minerales, relleno, asfalto y potencialmente, modificadores o aditivos. Dentro de estas mezclas, los agregados más grandes que son retenidos en la malla N° 4 se denominan agregados gruesos; por el contrario, los agregados más pequeños que pasan a través de la malla N° 4 se conocen como agregados finos o arena. En el caso de los materiales que pasan la malla N° 200 comúnmente se incorpora un filler o relleno como la cal hidratada o cemento, para complementar la fracción que falta. Las propiedades que rigen el comportamiento mecánico de

la mezcla asfáltica están determinadas por la interacción de fricción y cohesión entre sus componentes. La fricción surge del entrelazamiento de los agregados y está influenciada tanto por el tamaño máximo del agregado grueso como por la gradación de los agregados utilizados. Por otro lado, la cohesión es consecuencia de las características propias del asfalto, así como de la composición de la mezcla fina. Las características reológicas del asfalto permiten la producción de una mezcla bien compactada (Menéndez, 2016).

- **Mezclas asfálticas en frío**

La mezcla asfáltica en frío suele ser una combinación formada por asfalto emulsionado o asfalto recortado; en su forma emulsionada, el asfalto es menos viscoso y la mezcla es fácil de trabajar y comprimir. La mezcla en frío se utiliza mucho como material de reparación y en carreteras de servicio con poco tráfico. La denominación mezcla asfáltica en frío también se ha utilizado para la fabricación de una mezcla asfáltica a temperaturas del orden menor a 60°C. La mezcla asfáltica en frío puede utilizarse para capas superficiales, de base o sub-base, siempre que el pavimento se construya adecuadamente; las capas superficiales de mezcla en frío son adecuadas para tráfico ligero y medio; sin embargo, generalmente necesitan una capa de sellado o un recubrimiento de hormigón asfáltico en caliente como protección de la superficie (Speight, 2015).

Las características de la mezcla asfáltica en frío de acuerdo a (Speight, 2015) son:

La mezcla asfáltica en frío, se manipula, coloca y compacta normalmente sin calentamiento. Este material puede manipularse en frío porque utiliza asfalto líquido en forma de emulsión asfáltica y/o asfalto recortado, ambos fluidos a temperatura ambiente. Así pues, el concreto asfáltico en frío es una mezcla de asfalto emulsionado y agregado, producido, colocado y compactado a temperatura ambiente. (p. 364)

Respecto al uso de la mezcla asfáltica en frío, puede utilizarse para la construcción de capas de base y también suele emplearse para parchear y reparar pavimentos. Su uso suele limitarse a carreteras rurales de volumen relativamente bajo. Para aplicaciones de mayor tráfico, suele requerir un recubrimiento de mezcla asfáltica o un tratamiento superficial para resistir la acción del tráfico (Speight, 2015, p. 365).

En cuanto al uso de emulsiones asfálticas y factores incidentes, Speight (2015) menciona:

La selección de la emulsión asfáltica para la mezcla asfáltica en frío se basa en (i) la compatibilidad de la emulsión con el agregado, (ii) la capacidad de la emulsión para recubrir el agregado a la velocidad de diseño, y (iii) las condiciones de uso. Los factores determinantes son el tipo de agregado, la gradación de la mezcla, la cantidad de material que pasa el tamiz N° 200 y el uso de la mezcla. (p. 365)

Como cualquier otra mezcla asfáltica, los principales componentes de la mezcla en frío son los agregados (agregado grueso, agregado fino y rellenos) y el material ligante (recorte y emulsión); otro componente que la diferencia de otras mezclas asfálticas es el agua, los componentes se discuten a continuación:

Materiales aglutinantes. La emulsión y el recorte son los principales materiales aglutinantes utilizados en las mezclas asfálticas en frío:

La emulsión tiene una viscosidad reducida a temperatura normal, lo que la convierte en un excelente material ligante, siendo un producto líquido en el que el betún permanece suspendido en un medio acuoso finamente dividido. Esto hace que la emulsión sea un sistema bifásico compuesto por dos líquidos inmiscibles, la primera fase se conoce como fase dispersa (interna) y la segunda es la fase continua (externa). La fase que está presente en forma de gotitas diminutas es la fase dispersa/interna y la fase en la que estas gotitas están suspendidas es la fase continua/externa. La emulsión de tipo aceite en agua (O/W) se considera la emulsión estándar, que incluye del 40 al 75% de asfalto, del 0,1 al 2,5% de emulsionante y del 25 al 60% de agua (Asphalt Institute, 1997).

La emulsión catiónica es adecuada para la mayoría de los agregados, Song et al. (2006) indicaron que la mezcla preparada con emulsión catiónica (CSS-1) mostraba mayores resistencias y módulo elástico que la mezcla preparada con emulsión aniónica (SS-1). También se ha informado el principal problema del uso de la emulsión catiónica, es que el pH de la mezcla puede elevarse rápidamente incluso hasta un valor aproximado de 13; aditivos como el cemento y la cal neutralizan los ácidos de la emulsión catiónica, lo que provoca la desestabilización de la emulsión. La mayoría de los estudios recomiendan emulsiones de fraguado medio y lento para la construcción y reparación de pavimentos, no se recomienda el fraguado rápido debido a la presencia de agregados finos, relleno de arena con un área específica alta, el fraguado rápido de la emulsión de betún flocula y se fusiona rápidamente, provocando el empastamiento del betún y un recubrimiento insuficiente de los agregados (Swiertz et al., 2012).

Agua. Como la mezcla asfáltica en frío se fabrica a temperatura ambiente con la ayuda de materiales aglutinantes como la emulsión y los recortes, se reduce la viscosidad del aglutinante utilizando agua u otro producto derivado del petróleo. Esto reduce la viscosidad, pero no se alcanza el nivel de trabajabilidad necesario para lograr un recubrimiento y una unión adecuada de los agregados. Para conseguir la trabajabilidad adecuada, se añade agua con el objetivo de lubricar los agregados que, de acuerdo a la especificación debe ser agua potable (Thanaya et al., 2009).

Agregados y polvo mineral (filler). Para elaborar la mezcla asfáltica en frío, es imperativo que los agregados de piedra y el relleno mineral se adhieran a los criterios especificados. Cuando se trate de vías de alto tráfico, la proporción en masa de arena natural no debe superar el 15% de la masa total del agregado. Sin embargo, para rutas con tráfico menos intenso, esta proporción no debe exceder el 25%. Independientemente del tráfico, la proporción de masa del agregado fino sin triturar nunca debe exceder la del agregado fino triturado. Para cumplir con las especificaciones de la Tabla 2, es necesario ajustar la composición de agregados gruesos y finos, así como el relleno mineral. Las mediciones requeridas para determinar la

composición adecuada se realizarán siguiendo lo establecido en la norma MTC E 204 (MTC, 2013).

Tabla 3

Gradación de agregados para mezclas densas en frío

Tamiz		Porcentaje que pasa		
Normal	Alternativo	MDF-1	MDF-2	MDF-3
38.1mm	1 1/2"	100	-	-
25.0mm	1"	80-95	100	-
19.0mm	3/4"	-	80-95	100
12.5mm	1/2"	62-77	-	-
9.5mm	3/8"	-	60-75	-
4.75mm	Nº4	45-60	47-62	50-65
2.36mm	Nº8	35-50	35-50	35-50
300µm	Nº50	13-23	13-23	13-23
75µm	Nº200	3-8	3-8	3-8

Nota. Información del Manual de carreteras “Especificaciones Generales para construcción” EG-2013, (MTC, 2013).

Así mismo a continuación, se muestra los requisitos para los agregados a usar en los pavimentos en frío:

Tabla 4

Requisitos de los agregados pétreos para pavimento asfáltico en frío

		Ensayo	Requerimiento								
			Bajo tránsito			Tránsito medio			Alto tránsito		
			Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada
Desgaste de Los Ángeles		MTC E 207	25% máx. (rodadura) 35% máx. (intermedia)			25% máx. (rodadura) 35% máx. (intermedio y base)			25% máx. (rodadura) 35% máx. (intermedio y base)		
Desgaste Micro-Deval		ASTM D 7428				25% máx. (rodadura) 35% máx. (intermedia y base)			25% máx. (rodadura) 35% máx. (intermedia y base)		
10% de finos (KN)	Seco								110 min (rodadura) 90 min (intermedia) 75 min (base)		
	Relación Húmedo/seco								75% min		
Pérdidas en ensayos de solidez	Sulfato de sodio	MTC E 209	12% máx.	12% máx.		12% máx.	12% máx.		12% máx.	12% máx.	
	Sulfato de magnesio		18% máx.	18% máx.		18% máx.	18% máx.		18% máx.	18% máx.	
Partículas fracturadas mecánicamente (agregado grueso) % mínimo 1 cara/2 caras		MTC E 210	75/- (rodadura) 60/- (intermedia)			75/60 (rodadura) 75/- (intermedia) 60/-(base)			85/70 (rodadura) 75/- (intermedia) 60/- (base)		

	Ensayo	Requerimiento								
		Bajo tránsito			Tránsito medio			Alto tránsito		
		Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada
Angularidad (Agregado fino)	ASTM D 1252		40% min (rodadura) 35% min (intermedia)			45% min (rodadura) 40% min (intermedia) 35% min (base)			45% min (rodadura) 40% min (intermedia) 35% (base)	
Coeficiente de pulimento acelerado	UNE 146130	0,45 min (rodadura)			0,45 min (rodadura)			0,45 min. (rodadura)		
Partículas planas y alargadas	MTC E 221	10% máx.			10% máx.			10% máx		
I.P.	MTC E 111			N.P.			N.P.			N.P.
Equivalente de arena	MTC E 114			50% mín.			50% mín.			50% mín.
Contenido de impurezas (Agregado grueso)	UNE 14613	0,5% máx.			0,5% máx.			0,5% máx.		
Adhesividad Resistencia conservada inm-comp				75% mín.						75% mín.

Nota. Información del Manual de carreteras “Especificaciones Generales para construcción” EG-2013, (MTC, 2013).

Por otro lado, el MTC (2013) indica que la selección de la franja a utilizar dependerá de las características de la capa compactada, incluyendo su tipo y espesor, las especificaciones para la franja se detallarán en los documentos del proyecto, siguiendo las pautas proporcionadas en la Tabla 4.

Tabla 5*Tipos de mezcla en función del tipo y espesor compacto de la capa*

Tipo de capa	Espesor compacto (mm)	Tipo de Mezcla
Rodadura	50-75	MDF-2
	40-50	MDF-3
Intermedia	>50	MDF-2
Base	>75	MDF-1
Bacheo	50-75	MDF-2
	>75	MDF-1

Nota. Información del Manual de carreteras “Especificaciones Generales para construcción” EG-2013, (MTC, 2013).

Diseño de los asfaltos en frío. Al considerar la composición de los agregados y el material bituminoso, es fundamental tener en cuenta sus propiedades individuales, así como el contenido de humedad de los agregados que se utilizarán, se realizará una evaluación para determinar el nivel de humedad de compactación adecuado y el contenido teórico óptimo de material bituminoso. De acuerdo al MTC (2013), la evaluación empleará métodos que se basan en el área superficial específica de los agregados, y luego se prepararán mezclas con proporciones variables de material bituminoso por encima y por debajo de este óptimo teórico. A continuación, estas mezclas se someterán al ensayo de inmersión-compresión (MTC E 518), y se aplicarán los siguientes criterios para determinar el contenido ideal de material bituminoso.

- Resistencia seca (R_s) $\geq 25 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia húmeda (R_h) $\geq 20 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia conservada $R_c = (R_h/R_s) \cdot 100 \geq 75\%$

La Tabla 5 proporciona un resumen de las especificaciones para mezclas densas en frío.

Tabla 6*Requerimientos para mezclas densas en frío*

Parámetros de diseño (A)	Ensayo	Especificación
Recubrimiento (%)	Visual (B)	75 min.
Capa rodadura		
Resistencia R_i a $22,8 \pm 3^\circ\text{C}$	(C)	70 min.
Cura temprana (*)		78 min.
Cura total y condicionamiento con humedad (**)		
Estabilidad Marshall (kN)	AASHTO T 245	2,22
Mínimo a $22,2 \pm 1^\circ\text{C}$		50 min.
Estabilidad retenida (%) (***)		

Nota. (A) De acuerdo con el Instituto del Asfalto; Manual Series No. 19 (MS-19)

(B) Se debe evaluar la mezcla posterior al secado se superficie, cuantificando en % de partículas recubiertas.

(C) $R_i = R + 0,05C$; donde: R=valor de resistencia (AASHTO T 190) ; C=valor cohesiómetro (AASHTO T246)

(*) Curado en molde durante 24 h a la temperatura especificada.

(**) Curado en molde durante 72 h a la temperatura especifica y con desecación en vacío

(***) Después de saturación de vacíos e inmersión.

Información del Manual de carreteras "Especificaciones Generales para construcción" EG-2013, (MTC, 2013).

Requisitos de aceptación de los asfaltos en frío. Los controles que se aplicarán, van desde la calidad de la emulsión, calidad del agua, calidad de los agregados y filler mineral.

En lo que respecta la composición granulométrica, se debe mantener las tolerancias indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 7*Tolerancias granulométricas de los agregados para mezclas densas en frío*

Tamiz	Tolerancia en puntos de % sobre el peso seco de los agregados
4,75 mm (N.º 4) y mayores	±4%
2,36 mm (N.º 8)	±3%

Nota. Información del Manual de carreteras “Especificaciones Generales para construcción” EG-2013, (MTC, 2013).

La resistencia media de las probetas (R_m), tanto después del curado en seco como en húmedo, debe ser igual o superior al 90% de la resistencia de la mezcla final de trabajo (R_t):

$$R_m \geq 0,9 R_t$$

Además, es imperativo que la resistencia de cada probeta (R_i) sea equivalente o supere el 80% del valor medio de su grupo correspondiente. Solo se permite un valor por debajo de ese límite: $R_i \geq 0,8 R_m$

En consecuencia, es imperativo que la resistencia conservada (R_{cm}) alcance un mínimo del 75%, sin dejar margen para la tolerancia.

3.3. Definición de términos

Calidad de material granular. - El estándar ASTM D8, define el agregado como un material granular compuesto por minerales tales como arena, grava, conchas, escoria o piedra triturada, usado con algún cementante como medio para formar morteros u hormigón.

Cantera. - Hoyo artificial en el suelo donde se excava piedra, arena, etc. para su uso como material de construcción.

Granulometría de los agregados. - El proceso de granulometría de áridos consiste en separar las partículas del material árido en función de su tamaño. Esto se determina

mediante el análisis de tamices, que clasifican el agregado por el número de tamices que retienen, en función de su tamaño.

Mezcla asfáltica. - Es un material compuesto principalmente de ligante y áridos, está compuesta por un 90-95% de áridos, pudiendo añadirse un aditivo mineral para mejorar la calidad o el rendimiento de la mezcla, la resistencia a los daños por fatiga, el agrietamiento a baja temperatura y los daños por humedad.

Mezcla asfáltica en frío. El hormigón asfáltico mezclado en frío se forma emulsionando asfalto con jabón (esencialmente) en agua antes de mezclarlo con los áridos. En su estado emulsionado, el asfalto es menos viscoso y la mezcla es más fácil de trabajar y compactar. La mezcla en frío se utiliza normalmente como material de parcheo y en carreteras de servicio con menos tráfico.

Pavimento. Se denomina pavimento de carretera a una estructura en capas que se apoya en la subrasante del suelo para formar la calzada de una carretera.

Pavimento flexible. Se denominan así porque la estructura total del pavimento se flexiona bajo carga. Una estructura de pavimento flexible se compone normalmente de varias capas de materiales. Cada capa recibe cargas de la capa superior, las distribuye y las transmite a la capa inferior.

Peso específico de los agregados. La densidad relativa de los agregados, también conocida como peso específico, se determina calculando el peso del material en comparación con el volumen absoluto que ocupa cuando se desplaza el agua.

Resistencia a la fatiga. Definida como la capacidad de soportar las tensiones provocadas por el movimiento vehicular.

Resistencia al deslizamiento. Definida como la capacidad del pavimento para proporcionar tracción cuando está húmedo.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de tesis

En conjunto, se trata de una tesis de tipo aplicada, que implica el estudio apoyado en conocimientos que ya existen y permiten aportar en la solución de problemas observados. De igual forma el nivel considerado fue el correlacional causal, esto debido a que las consecuencias medidas son producto de aspectos puntuales considerados como causa, también se dice de la existencia de una influencia de una variable independiente sobre la variable dependiente (Hernandez, 2018).

4.2. Ámbito temporal y espacial

La presente tesis se desarrolló desde la aprobación del proyecto hasta la fecha.

En el tema espacial, el presente trabajo de tesis se encuentra enmarcada en las canteras del distrito de Abancay.

4.3. Población y muestra

Población

Para la presente tesis se tuvo como población todo el material granular (agregados) existentes en las canteras de Pedregal y Murillo del distrito de Abancay, departamento de Apurímac.

Muestra

Fueron porciones de material granular a ser sometidas a prueba según diseño factorial para determinar sus propiedades físicas y mecánicas del material granular de las canteras consideradas en la población.

4.4. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron fueron la ficha de observación a los ensayos y el cuestionario validados respectivamente por expertos.

4.5. Procedimientos

Para llevar a cabo la tesis sobre la calidad del material granular en el distrito de Abancay y su influencia en el comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío, se siguieron

los siguientes procedimientos: primero, se realizó una recolección de muestras representativas del material granular en diversas zonas del distrito. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, como granulometría, densidad y resistencia. Estos resultados fueron comparados con los estándares técnicos vigentes. Finalmente, se evaluó el desempeño de las mezclas asfálticas en frío mediante ensayos de laboratorio, relacionando la calidad del material granular con el comportamiento observado.

4.6. Análisis de datos

Primero, se recabó información a través de la observación sistemática, que incluyó los datos resultantes del análisis de las propiedades físico-mecánicas del material granular y su aplicación en los pavimentos de las vías del distrito de Abancay.

Posteriormente, la información fue sometida a un análisis estadístico exhaustivo, donde se evaluaron minuciosamente los datos recolectados para identificar posibles errores u omisiones surgidos durante la recopilación. Estos errores fueron corregidos o eliminados en una etapa posterior del proceso. Adicionalmente, se asignaron códigos numéricos a todos los datos obtenidos, lo que permitió su procesamiento electrónico en un sistema informático.

4.7. Consideraciones Éticas

Según el reglamento del comité de ética de tesis de la Universidad Tecnológica de los Andes, el investigador: Actuó con responsabilidad, rigurosidad científica, honestidad y transparencia durante todo el proceso de la tesis. Se respetó la dignidad humana, identidad, diversidad, libertad, y el derecho a la autodeterminación informativa, confidencialidad y privacidad de las personas involucradas. La información obtenida fue tratada con discreción y no se utilizó para fines de lucro personal. En las investigaciones que involucraron seres humanos, se protegió y respetó a los sujetos de estudio, asegurando que su participación contribuyera al bien social y al avance de la ciencia. Asimismo, se garantizó la fidelidad de los resultados, así como la seguridad y transparencia en el proceso, asegurando que los beneficios fueran para la población.

V. Resultados y discusión

Tabla 8

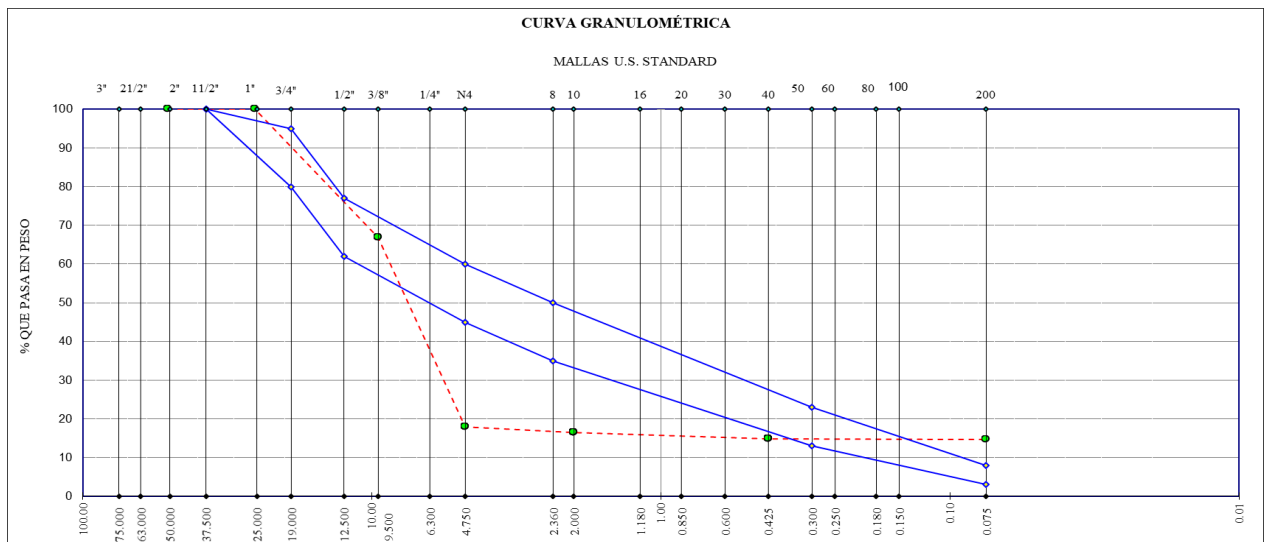
Características de la piedra chancada 3/8 de la cantera Murillo -Pachachaca

Tamiz	Abertura	Peso Retenido	(%) Parcial	% Acumulado	% Acumulado	Especificaciones Gradación	Descripción de la
	(mm)	(gr.)	Retenido	Retenido	Que pasa	MDF - 1	muestra
3"	76.200						Tamaño Máximo: 3/8"
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0		Peso total muestra: 1320.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0	80-95	
3/4"	19.050	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.700	31.5	2.4	2.4	97.6	62 - 77	
3/8"	9.525	405.8	30.7	33.1	66.9		
1/4"	6.350	0.0	0.0	33.1	66.9	-----	
No 4	4.750	647.0	49.0	82.1	17.9	45 - 60	
No 8	2.360	17.8	1.3	83.5	16.5	35 - 50	
No 10	2.000	0.0	0.0	83.5	16.5		
No 16	1.190	10.5	0.8	84.3	15.7	-----	
No 20	0.840	0.0	0.0	84.3	15.7	-----	
No 30	0.600	0.0	0.0	84.3	15.7	-----	
No 40	0.425	0.0	0.0	84.3	15.7		
No 50	0.300	11.3	0.9	85.1	14.9	13 - 23	
No 60	0.250	0.0	0.0	85.1	14.9	-----	Observaciones:
No 80	0.180	0.0	0.0	85.1	14.9		
No 100	0.149	0.0	0.0	85.1	14.9	-----	
No 200	0.075	3.6	0.3	85.4	14.6	3 - 8	
PASA		0.6	0.0	85.5	14.5		

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 6

Características de la piedra chancada 3/8 de la cantera Murillo –Pachachaca



A partir de los resultados de la tabla N° 8, se observa que los datos de la piedra chancada 3/8 de la cantera Murillo - Pachachaca presentan una gradación que se ajusta a las especificaciones técnicas esperadas en algunos de los tamices, mientras que en otra muestra ciertas desviaciones. El tamaño máximo especificado es 3/8" (9.525 mm), y los datos obtenidos indican que la mayor parte del material retenido se encuentra entre el 3/8" y el 1/2" de apertura de tamiz, lo que es coherente con las expectativas para este tipo de material. Sin embargo, se presenta un exceso de material retenido en el tamiz No 4 (4.750 mm), con un 49% retenido, que supera considerablemente los límites aceptables en la gradación para esta clase de piedra. En este caso, las especificaciones del material indican que entre el 45% y el 60% de la piedra debe pasar por este tamiz, lo que implica que el resultado obtenido no cumple con los parámetros esperados.

Adicionalmente, en los tamices más finos, como el No 8 (2.360 mm) y el No 50 (0.300 mm), el material retenido está dentro de un rango más acorde con las especificaciones de gradación, aunque las cantidades son bajas. En el caso del No 8, el 1.3% del material es retenido, lo que se encuentra dentro de los rangos esperados (35% - 50%), mientras que el tamiz No 50 muestra el 0.9% de material retenido, lo cual está en el margen inferior de la especificación (13% - 23%). En cuanto a los tamices más finos como el No 200 (0.075 mm), el material retenido es de 0.3%, lo que cumple con el estándar de pasar entre el 3% y el 8%, indicando que, en general, las partículas más pequeñas están siendo correctamente filtradas.

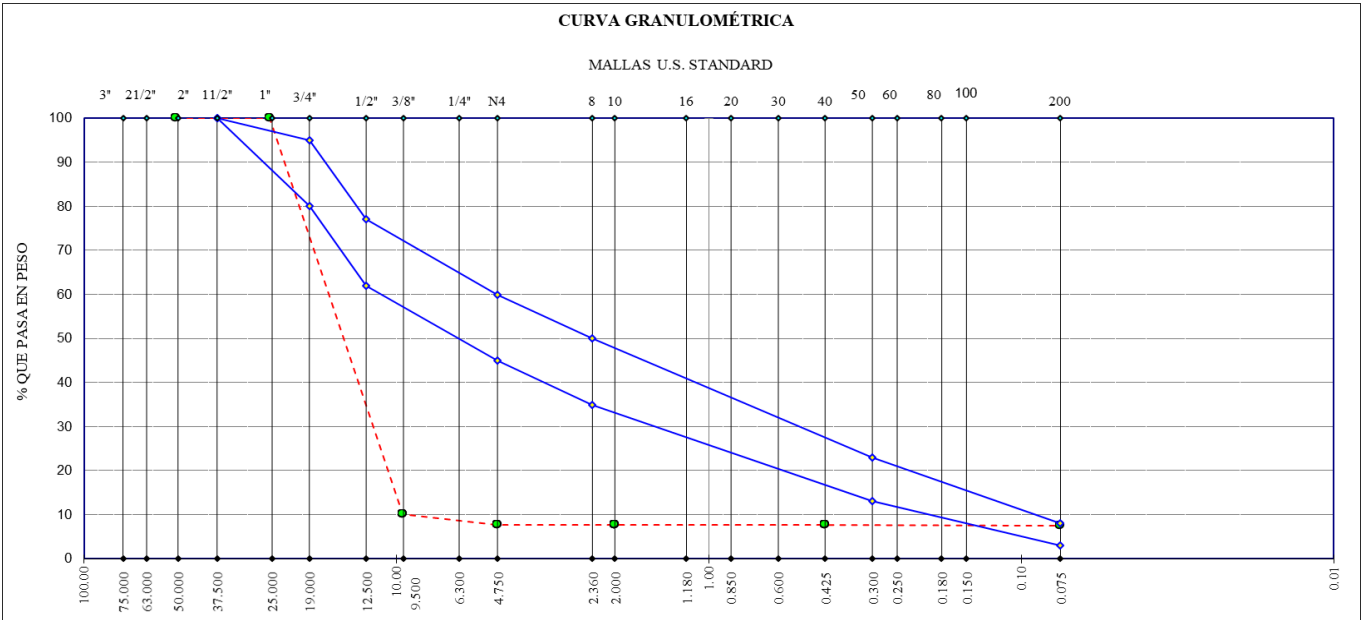
finalmente, los resultados en esta prueba de gradación de la piedra chancada 3/8 presentan tanto conformidades como desviaciones con respecto a las especificaciones de gradación. Los niveles de material retenido en los tamices más gruesos (como el No 4) son inadecuados, lo que sugiere que el proceso de trituración puede necesitar ajustes para asegurar que el material cumpla con los parámetros establecidos. Sin embargo, los resultados en los tamices finos son aceptables y muestran que el material cumple con los rangos requeridos en su mayoría. Se recomienda revisar y ajustar el proceso de trituración para mejorar la distribución de tamaños y cumplir más estrictamente con las especificaciones de gradación.

Tabla 9
Características de la piedra chancada 3/4 de la cantera Murillo -Pachachaca

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	(%) Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado Que pasa	Especificaciones Gradación MDF - 1	Descripción de la muestra
3"	76.200						Tamaño Máximo: 3/4"
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0		Peso total muestra: 2205.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0	80 - 95	
3/4"	19.050	326.50	14.8	14.8	85.2		
1/2"	12.700	1150.0	52.2	67.0	33.0	62 - 77	
3/8"	9.525	504.3	22.9	89.8	10.2		
1/4"	6.350	0.0	0.0	89.8	10.2	-----	
No 4	4.750	53.2	2.4	92.2	7.8	45 - 60	
No 8	2.360	0.2	0.0	92.3	7.7	35 - 50	
No 10	2.000	0.0	0.0	92.3	7.7		
No 16	1.190	0.0	0.0	92.3	7.7	-----	
No 20	0.840	0.0	0.0	92.3	7.7	-----	
No 30	0.600	0.0	0.0	92.3	7.7	-----	
No 40	0.425	0.0	0.0	92.3	7.7		
No 50	0.300	1.3	0.1	92.3	7.7	13 - 23	
No 60	0.250	0.0	0.0	92.3	7.7	-----	Observaciones:
No 80	0.180	0.0	0.0	92.3	7.7		
No 100	0.149	0.0	0.0	92.3	7.7	-----	
No 200	0.075	3.0	0.1	92.4	7.6	3 - 8	
PASA		0.7	0.0	92.5	7.5		

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 7
Características de la piedra chancada 3/4 de la cantera Murillo –Pachachaca



A partir de los resultados de la tabla N° 9, de la piedra chancada 3/4 de la cantera Murillo - Pachachaca, se observa que, en general, la gradación de los tamices cumple en gran parte con las especificaciones requeridas, aunque se presentan algunas desviaciones que merecen atención. El tamaño máximo especificado es de 3/4" (19.050 mm), y en los resultados obtenidos, la mayor parte del material retenido se encuentra dentro de las aberturas cercanas a este tamaño. El material retenido en el tamiz 3/4" (19.050 mm) es de 14.8%, lo cual es adecuado en términos generales, y con un 85.2% del material pasando por el tamiz. No obstante, el tamiz No 4 (4.750 mm) muestra un 2.4% de material retenido, lo que se ajusta a las especificaciones del 45% - 60%, lo cual es adecuado, pero aún existe margen de mejora para reducir el contenido de material grueso.

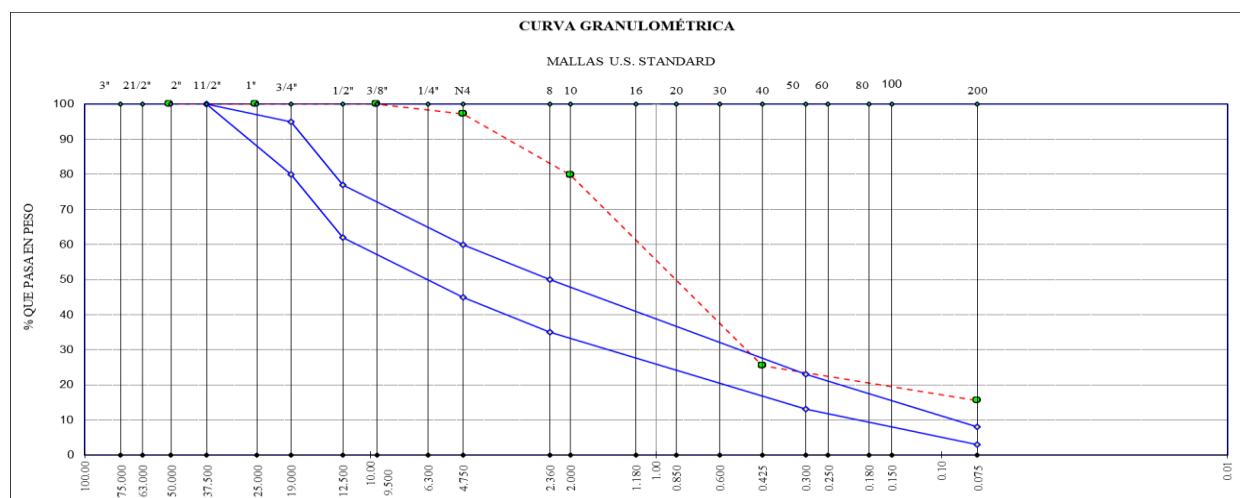
En los tamices más finos, como el No 50 (0.300 mm) y el No 200 (0.075 mm), el material retenido también está dentro de los límites aceptables. El 0.1% del material retenido en el No 50 y el 0.1% en el No 200 son menores que los valores especificados, lo cual indica que la mayor parte de las partículas más finas pasan correctamente. Esto es consistente con las especificaciones que permiten entre el 13% y el 23% en el tamiz No 50 y entre el 3% y el 8% en el No 200. Además, se observa que el material retenido en los tamices más finos, como el No 80, No 100 y No 200, es mínimo, lo cual refleja un buen proceso de clasificación y filtrado de partículas más pequeñas.

En resumen, los resultados obtenidos de la gradación de la piedra chancada 3/4 cumplen en su mayoría con las especificaciones técnicas, con una leve desviación en algunos de los tamices más gruesos, como el No 4, que se encuentra ligeramente por encima del límite superior de la especificación. Sin embargo, el material retenido en los tamices finos está dentro de los parámetros aceptables, lo que sugiere que el proceso de trituración y clasificación es eficiente. Se recomienda realizar ajustes en el proceso para optimizar la distribución del material y cumplir más estrictamente con los límites establecidos en los tamices más gruesos, sin comprometer la calidad de las partículas más finas.

Tabla 10*Características de la arena gruesa de la cantera Murillo -Pachachaca*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	(%) Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado Que pasa	Especificaciones Gradación MDF - 1	Descripción de la muestra
3"	76.200						Tamaño Máximo: 8"
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0		Peso total muestra: 1046.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0	80 - 95	
3/4"	19.050	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0	62 - 77	
3/8"	9.525	0.0	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.0	100.0	-----	
No 4	4.750	28.5	2.7	2.7	97.3	45 - 60	
No 8	2.360	182.2	17.4	20.1	79.9	35 - 50	
No 10	2.000	0.0	0.0	20.1	79.9		
No 16	1.190	210.1	20.1	40.2	59.8	-----	
No 20	0.840	0.0	0.0	40.2	59.8	-----	
No 30	0.600	221.6	21.2	61.4	38.6	-----	
No 40	0.425	0.0	0.0	61.4	38.6		
No 50	0.300	138.3	13.2	74.6	25.4	13 - 23	
No 60	0.250	0.0	0.0	74.6	25.4	-----	Observaciones:
No 80	0.180	0.0	0.0	74.6	25.4		
No 100	0.149	59.2	5.7	80.3	19.7	-----	
No 200	0.075	44.4	4.2	84.5	15.5	3 - 8.	
PASA		122.9	11.8	96.3	3.7		

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 8*Características de la arena gruesa de la cantera Murillo -Pachachaca*

A partir de tabla N° 10 los resultados de la arena gruesa de la cantera Murillo - Pachachaca, se observa que el tamaño máximo especificado es de 8" (203.2 mm), y el material clasificado en los tamices más gruesos cumple con este criterio, con el 100% del material pasando por los tamices más grandes, como el 3" (76.200 mm). Sin embargo, en los tamices intermedios y finos, se presentan ciertas desviaciones con respecto a las especificaciones de gradación. Por ejemplo, el tamiz No 4 (4.750 mm) muestra un 2.7% de material retenido, lo cual está dentro de los límites establecidos del 45% - 60%, lo que es adecuado. Sin embargo, en tamices más finos como el No 50 (0.300 mm), se observa un 13.2% de material retenido, lo cual está dentro del rango esperado (13% - 23%), aunque se encuentra en el extremo inferior del intervalo.

En los tamices más finos, como el No 100 (0.149 mm) y el No 200 (0.075 mm), se observa que el material retenido se ajusta a las especificaciones, con un 5.7% y un 4.2% de material retenido, respectivamente. Estos valores están dentro de los rangos aceptables para los tamices más pequeños, que se establecen entre un 3% y un 8% para el No 200. Este comportamiento indica que el material más fino está siendo correctamente clasificado y cumple con las normativas para la gradación de la arena gruesa. Además, se observa que el 3.7% del material pasa sin ser retenido en los tamices más pequeños, lo cual está dentro de lo esperado para este tipo de material.

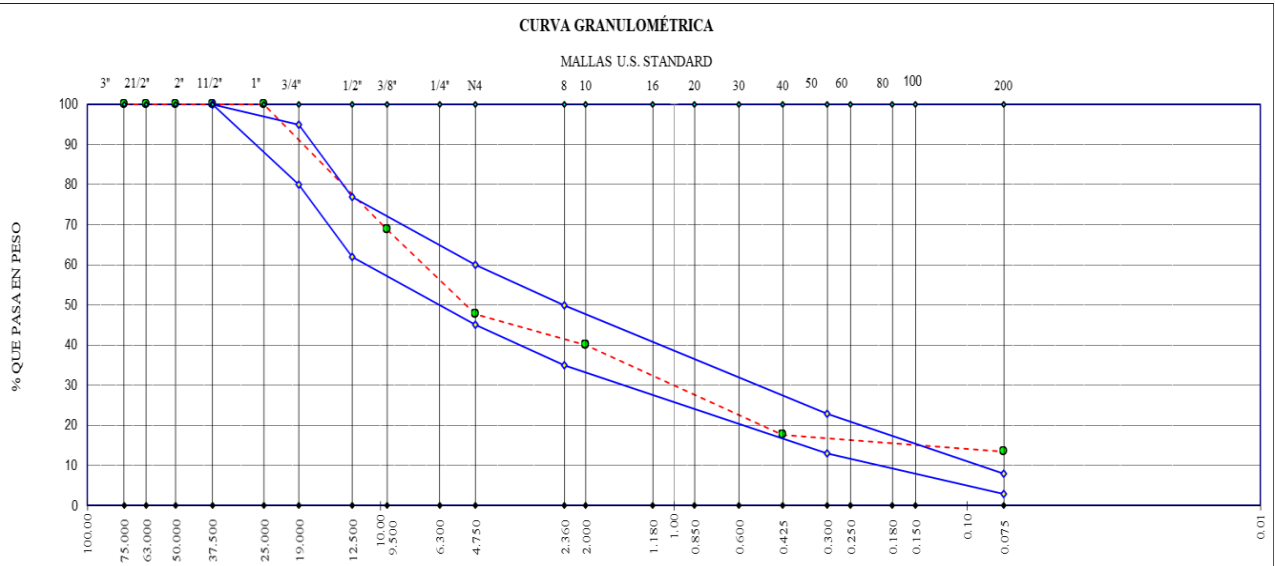
Cabe precisar que, la gradación de la arena gruesa de la cantera Murillo - Pachachaca cumple con la mayoría de las especificaciones de gradación, especialmente en los tamices más finos, donde el material se encuentra dentro de los rangos requeridos. Sin embargo, se recomienda revisar el proceso de trituración para optimizar la distribución del material en los tamices intermedios y reducir el exceso de material retenido en el tamiz No 4. Los valores observados en los tamices más finos son aceptables y están dentro de los límites establecidos, lo que sugiere que, en general, el proceso de clasificación es adecuado.

Tabla 11
Diseño de mezcla asfáltica (Métrodo Ilinouis-Marshall) combinación de agregados - Murillo

Tamiz	Abertura (mm)	A Piedra 3/8 Murillo	B Piedra 3/4 Murillo	C Zapal B	D Arena Gruesa Murillo	% Pasa Combinación	Especificaciones Gradación MDF - 1	Observaciones
% Combinaciones		40	20	0	40	100		
3"	75.000							
2 1/2"	63.000							
2"	50.000							
1 1/2"	37.500	100.0	100.0		100.0	100	100	
1"	25.000	100.0	100.0		100.0	100.0		
3/4"	19.000	100.0	85.2		100.0	97.0	80 - 95	
1/2"	12.500	97.6	33.0		100.0	85.7	62 - 77	
3/8"	9.500	66.9	10.2		100.0	68.8		
1/4"	6.300	66.9	10.2		100.0	68.8	-----	
No4	4.750	17.9	7.8		97.3	47.6	45 - 60	
No8	2.360	16.5	7.7		79.9	40.1	35 - 50	
No10	2.000	16.5	7.7		79.9	40.1		% Agregados
No16	1.180	15.7	7.7		59.8	31.7	-----	
No20	0.850	15.7	7.7		59.8	31.7	-----	
No30	0.600	15.7	7.7		38.6	23.3	-----	
No40	0.425	15.7	7.7		38.6	23.3		
No50	0.300	14.9	7.7		25.4	17.6	13 - 23	
No60	0.250	14.9	7.7		25.4	17.6	-----	
No80	0.180	14.9	7.7		25.4	17.6		
No100	0.150	14.9	7.7		19.7	15.4	-----	
No200	0.075	14.6	7.6		15.5	13.5	3 - 8	
PASA						0.0		

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 9
Diseño de mezcla asfáltica (Métrodo Ilinouis-Marshall) combinación de agregados – Murillo



En la tabla N° 11 los resultados de la combinación de agregados para el diseño de la mezcla asfáltica (Método Illinois-Marshall) de la cantera Murillo revelan varias observaciones clave relacionadas con la gradación y la distribución de los diferentes tamaños de agregado en la mezcla. En términos generales, las combinaciones de los agregados utilizados (Piedra 3/8, Piedra 3/4, Zapal B y Arena Gruesa) cumplen con la mayoría de las especificaciones de gradación, aunque algunos tamices presentan desviaciones que deben ser consideradas. Por ejemplo, en el tamiz de 3/4" (19.000 mm), el material retenido en la combinación de Piedra 3/4 Murillo es del 85.2%, lo que está dentro del rango especificado de 80-95%. Sin embargo, en la Arena Gruesa Murillo, la retención es mayor, con un 97.0%, lo que sugiere que este material podría necesitar ajustes para cumplir con los requisitos ideales de gradación.

En los tamices finos, como el No 50 (0.300 mm) y el No 200 (0.075 mm), se observa que los porcentajes de material retenido en las combinaciones son aceptables y se alinean con las especificaciones. El tamiz No 50 muestra una retención de material que se ajusta al rango de 13% a 23%, con un 17.6% de retención en la combinación de Arena Gruesa Murillo, lo que está dentro del límite establecido. Por otro lado, el tamiz No 200 muestra un 13.5% de material retenido en la Arena Gruesa Murillo, lo que también cumple con la especificación de entre 3% y 8%. Estos resultados indican que las partículas finas están adecuadamente distribuidas y que la mezcla tiene una gradación equilibrada.

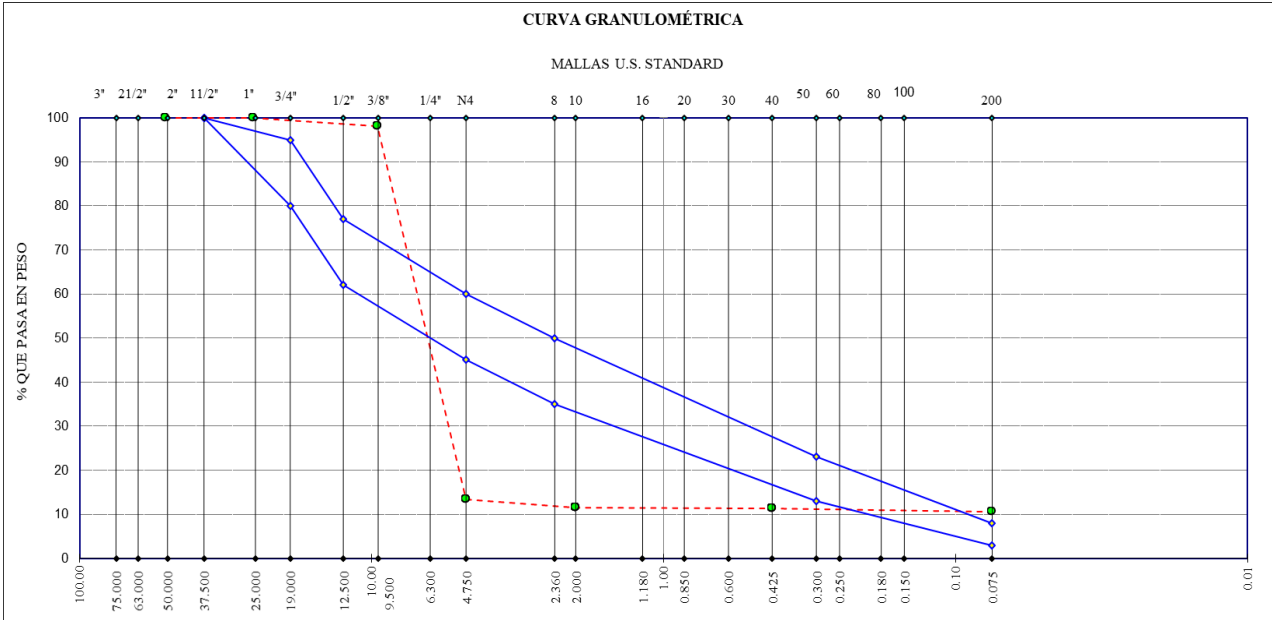
Sin embargo, en algunos de los tamices intermedios, como el No 4 (4.750 mm) y el No 8 (2.360 mm), se presentan ciertos valores que deben ser monitoreados. Por ejemplo, el material retenido en el tamiz No 4 es del 47.6% en la Arena Gruesa Murillo, lo que está fuera del rango especificado de 45% a 60%. Este exceso indica una necesidad de ajustar las proporciones de los agregados o la trituración para optimizar la distribución del tamaño de las partículas. En general, la combinación de agregados para este diseño de mezcla asfáltica parece adecuada, pero se recomienda ajustar ciertos aspectos, como la proporción de Arena Gruesa Murillo, para mejorar la conformidad con las especificaciones de gradación y asegurar la calidad y durabilidad de la mezcla asfáltica.

Tabla 12
Características de la piedra chancada 3/8 de la cantera pedregal

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	(%) Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado Que pasa	Especificaciones Gradación MAC - 1	Especificaciones Gradación MAC-1
3"	76.200						Tamaño Máximo: 4"
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0		Peso total muestra: 1166.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0	80 - 95	
3/4"	19.050	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.700	7.2	0.6	0.6	99.4	62 - 77	
3/8"	9.525	14.2	1.2	1.8	98.2		
1/4"	6.350	0.0	0.0	1.8	98.2	-----	
No 4	4.750	989.0	84.8	86.7	13.3	45 - 60	
No 8	2.360	20.8	1.8	88.4	11.6	35 - 50	
No 10	2.000	0.0	0.0	88.4	11.6		
No 16	1.190	1.7	0.1	88.6	11.4	-----	
No 20	0.840	0.0	0.0	88.6	11.4	-----	
No 30	0.600	0.0	0.0	88.6	11.4	-----	
No 40	0.425	0.0	0.0	88.6	11.4		
No 50	0.300	1.7	0.1	88.7	11.3	13 - 23	
No 60	0.250	0.0	0.0	88.7	11.3	-----	Observaciones:
No 80	0.180	0.0	0.0	88.7	11.3		
No 100	0.149	0.0	0.0	88.7	11.3	-----	
No 200	0.075	8.9	0.8	89.5	10.5	3 - 8.	
PASA		0.9	0.1	89.6	10.4		

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 10
Características de la piedra chancada de 3/8



En la tabla N° 11 al analizar los resultados de la piedra chancada 3/8 de la cantera Pedregal según la gradación MAC-1, se observa que la mezcla presenta algunas características clave relacionadas con su distribución de tamaños de partículas. El tamaño máximo especificado es de 4", y se muestra que el 100% del material pasa a través de los tamices más grandes, como el 3" (76.200 mm), lo que es adecuado para este tipo de material. En los tamices intermedios, como el No 4 (4.750 mm), el material retenido es de un 84.8%, lo que está por encima del rango esperado de 45% - 60%, lo que sugiere que se debe ajustar la proporción de partículas más grandes. Sin embargo, es importante señalar que en este tipo de piedra, las partículas más gruesas predominan, lo que puede ser una característica específica del material.

En cuanto a los tamices más finos, como el No 50 (0.300 mm) y el No 200 (0.075 mm), los porcentajes de material retenido también están dentro de los límites aceptables, con un 0.1% y 0.8% de material retenido, respectivamente. Este comportamiento indica que las partículas más pequeñas se están distribuyendo de acuerdo a las especificaciones, con el tamiz No 50 cumpliendo con el rango de 13% - 23% y el No 200 con el rango de 3% - 8%, lo que es apropiado para asegurar la calidad de la mezcla. Además, el 0.9% del material pasa sin ser retenido en los tamices más finos, lo cual es esperado y no representa una preocupación.

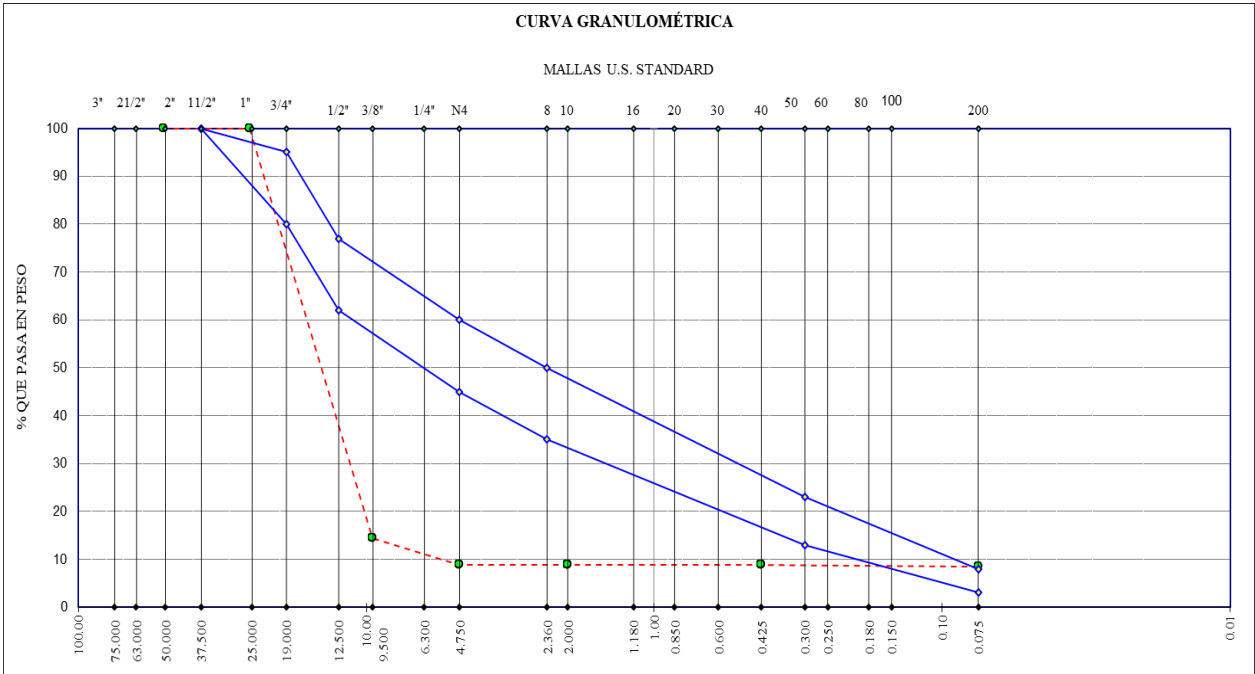
De igual forma, la gradación de la piedra chancada 3/8 de la cantera Pedregal cumple en gran medida con las especificaciones de gradación MAC-1, especialmente en lo que respecta a la distribución de partículas finas, aunque existe una ligera desviación en el tamiz No 4, donde el material retenido es más alto de lo esperado. Esto podría implicar la necesidad de ajustar el proceso de trituración para reducir la cantidad de material grueso y garantizar una mejor distribución en los tamaños más pequeños. A pesar de esta ligera desviación, el material cumple con las especificaciones requeridas para su uso en mezclas asfálticas y otros fines constructivos.

Tabla 13
Características de la piedra chancada de ¾ cantera pedregal

Tamiz	Abertura	Peso Retenido	(%) Parcial	% Acumulado	% Acumulado	Especificaciones Gradación	Descripción de la muestra
	(mm)	(gr.)	Retenido	Retenido	Que pasa	MDF - 1	
3"	76.200						Tamaño Máximo: 3/4"
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0		Peso total muestra: 1646.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0	80 - 95	
3/4"	19.050	537.00	32.6	32.6	67.4		
1/2"	12.700	742.0	45.1	77.7	22.3	62 - 77	
3/8"	9.525	129.5	7.9	85.6	14.4		
1/4"	6.350	0.0	0.0	85.6	14.4	-----	
No 4	4.750	91.4	5.6	91.1	8.9	45 - 60	
No 8	2.360	0.0	0.0	91.1	8.9	35 - 50	
No 10	2.000	0.0	0.0	91.1	8.9		
No 16	1.190	0.4	0.0	91.1	8.9	-----	
No 20	0.840	0.0	0.0	91.1	8.9	-----	
No 30	0.600	0.0	0.0	91.1	8.9	-----	
No 40	0.425	0.0	0.0	91.1	8.9		
No 50	0.300	0.8	0.0	91.2	8.8	13 - 23	
No 60	0.250	0.0	0.0	91.2	8.8	-----	Observaciones:
No 80	0.180	0.0	0.0	91.2	8.8		
No 100	0.149	0.0	0.0	91.2	8.8	-----	
No 200	0.075	4.5	0.3	91.5	8.5	3 - 8	
PASA		0.4	0.0	91.5	8.5		

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 11
Características de la piedra chancada de 3/4



En la tabla N° 13 los resultados de la piedra chancada de $\frac{3}{4}$ " de la cantera Pedregal presentan una gradación que cumple en gran medida con las especificaciones para su uso en mezclas asfálticas o aplicaciones constructivas. En términos generales, el tamaño máximo especificado es de $\frac{3}{4}$ " (19.050 mm), y el material retenido en los tamices más grandes, como el 3" (76.200 mm), muestra que el 100% del material pasa a través de los tamices mayores, lo que es adecuado. Sin embargo, en los tamices intermedios, como el $\frac{3}{4}$ " (19.050 mm), el material retenido es de un 32.6%, lo que es consistente con los requerimientos de gradación, ya que se ajusta a la distribución esperada de tamaños de partículas más grandes.

En los tamices más finos, como el No 50 (0.300 mm) y el No 200 (0.075 mm), los porcentajes de material retenido también están dentro de los rangos aceptables. El tamiz No 50 presenta un 0.8% de material retenido, lo que se ajusta al rango especificado de 13% - 23%, indicando una buena distribución de las partículas finas. Además, el tamiz No 200 muestra un 0.3% de material retenido, lo que está dentro de los límites establecidos de 3% a 8%. Este comportamiento sugiere que las partículas más finas están correctamente distribuidas, lo cual es fundamental para la calidad de la mezcla y la resistencia de los materiales.

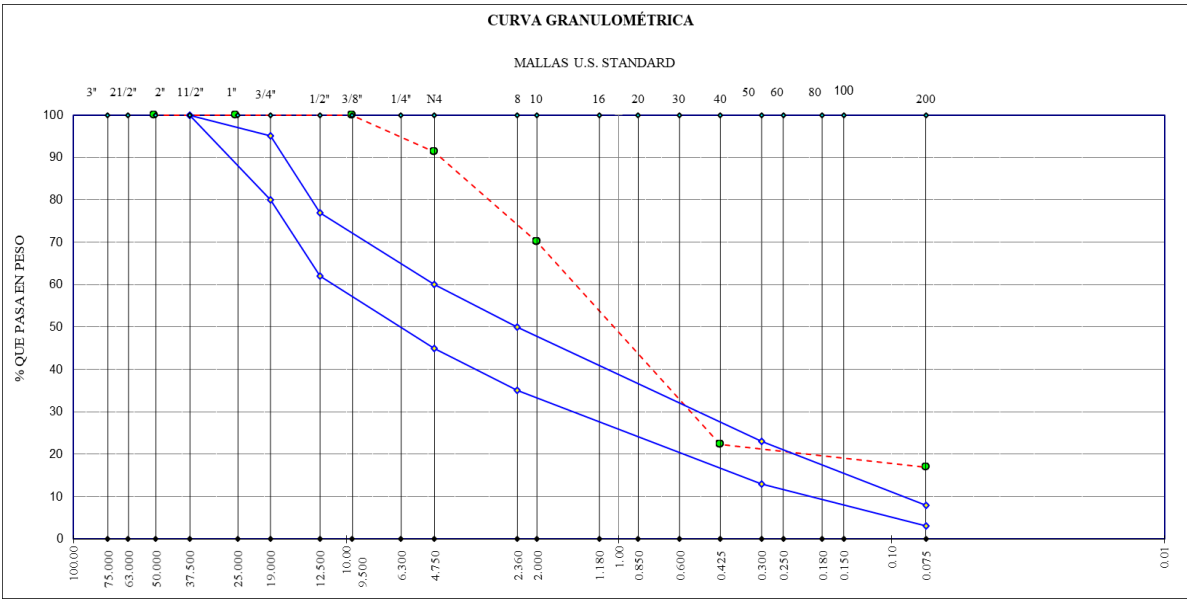
Además, la gradación de la piedra chancada de $\frac{3}{4}$ " de la cantera Pedregal cumple con la mayoría de las especificaciones requeridas, especialmente en lo que respecta a los tamaños más finos, que están dentro de los rangos aceptables. Sin embargo, el material retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ " es mayor de lo esperado, lo que podría sugerir la necesidad de ajustar el proceso de trituración para reducir la cantidad de material grueso y optimizar la distribución del tamaño de las partículas. En general, el material es adecuado para su uso en mezclas asfálticas y otros fines constructivos, aunque se recomienda revisar algunos aspectos del proceso para garantizar una mejor distribución de tamaños.

Tabla 14
Características de la arena gruesa cantera pedregal

Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (gr.)	(%) Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	Acumulado % Que pasa	Especificaciones Gradación MDF - 1	Descripción de la muestra
3"	76.200						Tamaño Máximo: 4"
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0		Peso total muestra: 1190.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0	80 - 95	
3/4"	19.050	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0	62 - 77	
3/8"	9.525	0.0	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.0	100.0	-----	
No 4	4.750	104.4	8.8	8.8	91.2	45 - 60	
No 8	2.360	252.1	21.2	30.0	70.0	35 - 50	
No 10	2.000	0.0	0.0	30.0	70.0		
No 16	1.190	266.2	22.4	52.3	47.7	-----	
No 20	0.840	0.0	0.0	52.3	47.7	-----	
No 30	0.600	194.2	16.3	68.7	31.3	-----	
No 40	0.425	0.0	0.0	68.7	31.3		
No 50	0.300	107.1	9.0	77.7	22.3	13 - 23	
No 60	0.250	0.0	0.0	77.7	22.3	-----	Observaciones:
No 80	0.180	0.0	0.0	77.7	22.3		
No 100	0.149	45.5	3.8	81.5	18.5	-----	
No 200	0.075	18.8	1.6	83.1	16.9	3 - 8	
PASA		182.1	15.3	98.4	1.6		

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 12
Características de la arena gruesa



En la tabla N° 14 la gradación de la arena gruesa de la cantera Pedregal muestra características clave que se ajustan en su mayoría a las especificaciones de gradación, aunque existen algunos aspectos que requieren atención. El tamaño máximo especificado es de 4", y en la muestra proporcionada, el 100% del material pasa a través de los tamices más grandes, lo que es adecuado. Sin embargo, se observa que en el tamiz No 4 (4.750 mm), el material retenido es del 8.8%, lo que está dentro del rango permitido de 45% - 60%, pero podría implicar que hay una ligera tendencia a un exceso de material grueso, lo que debe ser monitoreado. Además, en los tamices más finos, como el No 50 (0.300 mm), el material retenido es del 9%, lo que está ligeramente fuera del rango especificado de 13% - 23%, lo que sugiere que hay una cantidad menor de partículas finas en comparación con lo esperado. Los tamices más finos, como el No 100 (0.149 mm) y el No 200 (0.075 mm), muestran que el material retenido está dentro de los rangos adecuados. En el No 100, el material retenido es del 3.8%, y en el No 200 es del 1.6%, ambos dentro de los rangos establecidos (3% - 8%). Esto indica que el material más fino está bien distribuido en la muestra, lo cual es importante para asegurar la calidad y resistencia del material. El 1.6% del material pasa a través de los tamices más finos, lo cual está en línea con las expectativas para este tipo de agregado.

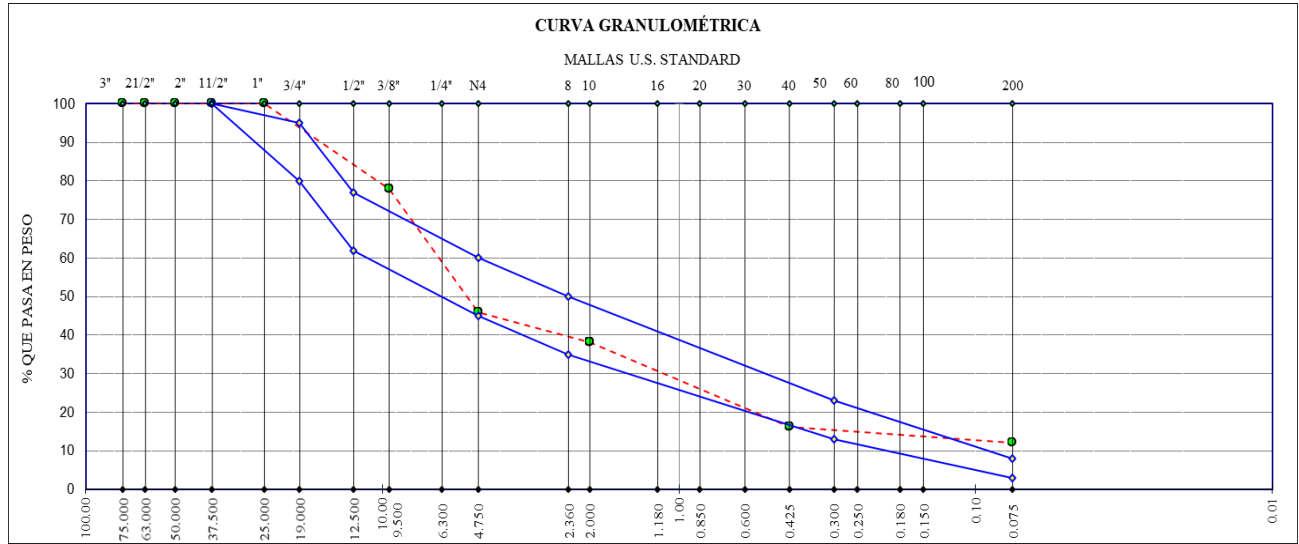
Cabe manifestar que, la gradación de la arena gruesa de la cantera Pedregal es en su mayoría conforme con las especificaciones requeridas para su uso en mezclas asfálticas o aplicaciones constructivas, con una distribución adecuada de partículas finas. Sin embargo, se recomienda realizar algunos ajustes en la proporción de material más grueso, particularmente en el tamiz No 4, para asegurar que la gradación se mantenga dentro de los límites ideales. Además, el ajuste de la proporción de partículas finas en el tamiz No 50 podría mejorar para cumplir más estrictamente con las especificaciones. A pesar de estas pequeñas desviaciones, el material es generalmente adecuado para su uso en la construcción y otras aplicaciones.

Tabla 15
Diseño de mezcla asfáltica (Método Ilinouis-Marshall) Combinación de agregados - Pedregal

Abertura		A	B	C	D	Especificaciones		
Tamiz	(mm)	Piedra 3/8 Pedregal	Piedra 3/4 Pedregal	B	Arena Gruesa Pedregal	% Pasa Combinación	Gradación MDF - 1	Observaciones
% Combinaciones		35	25	0	40	100		
3"	75.000							
2 1/2"	63.000							
2"	50.000							
1 1/2"	37.500				100.0	100	100	
1"	25.000	100.0	100.0		100.0	100		
3/4"	19.000	100.0	67.4		100.0	92.0	80 - 95	
1/2"	12.500	99.4	22.3		100.0	80.0	62 - 77	
3/8"	9.500	98.2	14.4		100.0	78.0		
1/4"	6.300	98.2	14.4		100.0	78.0	-----	
No4	4.750	13.3	8.9		97.3	46.0	45 - 60	
No8	2.360	11.6	8.9		79.9	38.0	35 - 50	
No10	2.000	11.6	8.9		79.9	38.0		% Agregados
No16	1.180	11.4	8.9		59.8	30.0	-----	
No20	0.850	11.4	8.9		59.8	30.0	-----	
No30	0.600	11.4	8.9		38.6	22.0	-----	
No40	0.425	11.4	8.9		38.6	22.0		
No50	0.300	11.3	8.8		25.4	16.0	13 - 23	
No60	0.250	11.3	8.8		25.4	16.0	-----	
No80	0.180	11.3	8.8		25.4	16.0		
No100	0.150	11.3	8.8		19.7	14.0	-----	
No200	0.075	10.5	8.5		15.5	12.0	3 - 8	
PASA						0		

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 13
Diseño de mezcla asfáltica (Método Ilinouis-Marshall) Combinación de agregados



En la tabla N° 15 en el análisis de la combinación de agregados para el diseño de mezcla asfáltica (Método Illinois-Marshall) de la cantera Pedregal, los resultados muestran una distribución de tamaños de partículas adecuada, en su mayoría, pero con algunas áreas que podrían necesitar ajustes. El tamaño máximo especificado es de 3/4" (19.000 mm), y en general, las combinaciones de agregados cumplen con este requisito. Los tamices más gruesos, como el 3/4" (19.000 mm), presentan un 92% de material retenido en la combinación de piedra 3/4", lo que está dentro del rango esperado de 80-95%. Sin embargo, se observa que las combinaciones con arena gruesa muestran un 100% de material pasando a través de los tamices más grandes, lo que sugiere una mayor proporción de partículas finas en esa combinación.

En cuanto a los tamices más finos, como el No 50 (0.300 mm) y el No 200 (0.075 mm), los porcentajes de material retenido están dentro de los rangos establecidos para este tipo de mezcla asfáltica. El tamiz No 50 tiene un material retenido de 16%, que se encuentra dentro del rango especificado de 13% - 23%. Asimismo, el tamiz No 200 muestra un 12% de material retenido, lo cual se encuentra dentro de los límites aceptables de 3% - 8%. Esto indica que la mezcla tiene una adecuada distribución de partículas finas, lo cual es importante para la compactación y la resistencia de la mezcla asfáltica.

Sin embargo, en algunos de los tamices intermedios, como el No 4 (4.750 mm) y el No 8 (2.360 mm), los resultados son ligeramente más bajos de lo esperado. En el No 4, el material retenido es del 46%, lo que se ajusta a la especificación de 45% - 60%, pero en el No 8, el material retenido es de 38%, lo que está por debajo del rango de 35% - 50%. Estos resultados sugieren que puede ser necesario ajustar la proporción de los agregados o el proceso de trituración para mejorar la distribución en estos tamaños intermedios y cumplir más estrictamente con las especificaciones de gradación. En general, la mezcla es adecuada, pero con ligeros ajustes, se podría optimizar la distribución de los tamaños de partículas para mejorar aún más la calidad de la mezcla asfáltica.

Tabla 16

Abrasión Los Ángeles al desgaste del material grueso de cantera (MTC E 207-2016)
Cantera Murillo: Material Agregado grueso y fino.

TAMAÑOS MENORES: **1"**REVOLUCIONES: **500**

ANÁLISIS POR TAMIZADO				
N° de Malla	GRADACIONES			
	A	B	C	D
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"	1248			
3/4"	1268			
1/2"	1240			
3/8"	1255			
1/4"				
N° 4				
Platillo				

POCENTAJE DE DESGASTE	
Tipo de gradación	A
Peso material antes del ensayo (gr)	5011
Peso material después del ensayo (gr)	3516
Peso de desgaste(gr)	1495
DESGASTE (%)	29.83%

El valor al desgaste de las partículas gruesas que conforman al material de préstamo
 (Cantera) es igual a **29.83%**

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

En la tabla N° 16 el ensayo de abrasión Los Ángeles realizado sobre el material granular grueso de la Cantera Murillo tuvo como objetivo evaluar su resistencia al desgaste y fragmentación bajo condiciones de carga y fricción, siguiendo la metodología MTC E 207-2016. Este tipo de prueba es importante para materiales utilizados en la construcción de pavimentos, ya que determina cómo el agregado resistirá el tráfico vehicular. Durante el ensayo, se emplearon partículas de tamaño menor a 1 pulgada y se sometieron a 500 revoluciones, obteniendo un porcentaje de desgaste de 29.83%. Esto representa la pérdida de masa del material tras el ensayo y refleja su capacidad para resistir la fricción y golpes bajo condiciones simuladas.

El resultado del 29.83% de desgaste se sitúa justo en el límite inferior de las especificaciones comunes para agregados en pavimentos asfálticos, que suelen permitir un desgaste máximo de entre 30% y 35%. Esto indica que el material tiene una resistencia al desgaste aceptable, cumpliendo técnicamente con los estándares requeridos. Sin embargo, la proximidad al límite superior sugiere que, aunque adecuado, el material podría experimentar desgaste acelerado en condiciones de tráfico intenso o bajo cargas elevadas, lo que podría afectar la durabilidad del pavimento a largo plazo.

Si bien el material de la Cantera Murillo es técnicamente apto para su uso en mezclas asfálticas, es importante considerar su aplicación en contextos específicos. Para proyectos de carreteras con tráfico pesado o continuo, sería recomendable evaluar la posibilidad de utilizar un agregado con menor porcentaje de desgaste para garantizar una mayor durabilidad y estabilidad del pavimento. Asimismo, es fundamental implementar un monitoreo regular de la calidad del material para asegurar que cumple consistentemente con los estándares. En caso de ser necesario, se pueden explorar alternativas de otras canteras para obtener agregados que presenten mejor resistencia al desgaste, especialmente para tramos críticos de pavimentación

Tabla 17

MTC E 207-2016 Cantera Pedregal: Material Agregado grueso y fino.

TAMAÑOS MENORES: 1"		REVOLUCIONES: 500		
ANALISIS POR TAMIZADO				
N° de Malla	GRADACIONES			
	A	B	C	D
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"	1250			
3/4"	1255			
1/2"	1248			
3/8"	1249			
1/4"				
N° 4				
Platillo				

POCENTAJE DE DESGASTE

Tipo de gradación	A
Peso material antes del ensayo (gr)	5002
Peso material después del ensayo (gr)	3621
Peso de desgaste(gr)	1381
DESGASTE (%)	27.61%

El valor al desgaste de las partículas gruesas que conforman al material de préstamo
(Cantera) es igual a **27.61%**

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

En la tabla N° 17 el ensayo de abrasión Los Ángeles realizado sobre el material granular grueso de la Cantera Pedregal tuvo como propósito evaluar su resistencia al desgaste y fragmentación bajo condiciones de impacto y fricción, utilizando el método MTC E 207-2016. En esta prueba, se evaluaron partículas menores a 1 pulgada, sometidas a 500 revoluciones para simular el desgaste que el material podría experimentar en pavimentos sometidos al tráfico vehicular. Los resultados indicaron que el peso del material antes del ensayo era de 5002 gramos, mientras que después del ensayo se redujo a 3621 gramos, mostrando una pérdida de 1381 gramos, equivalente a un porcentaje de desgaste del 27.61%.

El resultado del 27.61% de desgaste se sitúa dentro del rango aceptable para agregados usados en mezclas asfálticas, que comúnmente permiten un máximo de 30-35%. Este porcentaje refleja que el material de la Cantera Pedregal posee una buena resistencia al desgaste, siendo adecuado para aplicaciones que requieran durabilidad y estabilidad en pavimentos. La capacidad del agregado para mantener su integridad estructural bajo condiciones de tráfico regular es importante para evitar problemas como la disgregación de partículas en la superficie del pavimento, lo cual podría llevar a fallas prematuras.

Dado que el material cumple con los estándares habituales, es apropiado para ser utilizado en mezclas asfálticas en frío, especialmente en carreteras con tráfico moderado a alto. Sin embargo, es recomendable tener en cuenta factores adicionales como el tipo de tráfico y las condiciones climáticas, que podrían afectar el desgaste real del pavimento. Además, se sugiere continuar con un monitoreo y control de calidad riguroso para asegurar la consistencia

del material en futuros proyectos, realizando ensayos periódicos que puedan identificar cualquier variación en la calidad del agregado.

Tabla 18

Determinación de la equivalencia de arena ASTM D2419

ITEM	DESCRIPCION	Cantera Murillo		
1	Tamaño Máximo (mm)	4.76	4.76	
2	Muestra N.º	1	2	
3	Hora de Entrada	10.1	10.12	
4	Hora de Salida	10.2	10.22	
5	Hora de Entrada	10.22	10.24	A-F
6	Hora de Salida	10.42	10.44	
7	Altura Máxima de la Arena (Pulgadas)	3.10	4.20	
8	Altura Máxima de Material Fino (Pulgadas)	4.50	4.80	
9	Equivalente de Arena (%)	68.9	87.5	
10	Equivalente de Arena Promedio (%)	78		
ITEM	DESCRIPCION	Cantera Pedregal		
1	Tamaño Máximo (mm)	4.76	4.76	
2	Muestra N.º	1	2	
3	Hora de Entrada	10.4	10.42	
4	Hora de Salida	10.5	10.52	
5	Hora de Entrada	10.52	10.54	A-F
6	Hora de Salida	11.12	11.14	
7	Altura Máxima de la Arena (Pulgadas)	2.88	2.60	
8	Altura Máxima de Material Fino (Pulgadas)	3.26	3.10	
9	Equivalente de Arena (%)	88.3	83.9	
10	Equivalente de Arena Promedio (%)	86		

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

En la tabla N° 18 el ensayo de equivalencia de arena, realizado conforme a la norma ASTM D2419, evaluó la limpieza del material fino en los agregados provenientes de las canteras Murillo y Pedregal. Este ensayo es clave para determinar la proporción de arena respecto al contenido de finos, lo cual influye directamente en la calidad y el comportamiento de las mezclas asfálticas. Los resultados mostraron que el material de la Cantera Murillo presentó una variabilidad notable entre las muestras, con valores de 68.9% y 87.5%, resultando en un promedio de 78%. Por otro lado, el material de la Cantera Pedregal mostró mayor consistencia, con valores de 83.9% y 88.3%, alcanzando un promedio de 86%.

El promedio de 78% de la Cantera Murillo, aunque supera el mínimo recomendado de 45-50%, indica que el material es relativamente limpio y adecuado para mezclas asfálticas en frío. Sin embargo, la variabilidad entre las muestras sugiere posibles inconsistencias en la distribución de partículas finas, lo que podría afectar la uniformidad y la calidad del suministro. En contraste, el agregado de la Cantera Pedregal, con un promedio elevado y más consistente de 86%, demuestra una mayor limpieza y uniformidad, aspectos que favorecen la compactación y estabilidad de las mezclas asfálticas, sugiriendo un material más confiable y predecible.

Se determina que el material granular de la Cantera Pedregal se considera de mayor calidad para aplicaciones en mezclas asfálticas debido a su alta y constante equivalencia de arena. Se recomienda su uso en proyectos que requieran una alta estabilidad y durabilidad en el pavimento. Aunque el material de la Cantera Murillo es aceptable, la variabilidad en sus resultados implica la necesidad de un control más riguroso durante la extracción y procesamiento para garantizar una calidad uniforme. Mejorar los procesos de cribado y limpieza podría ayudar a reducir la presencia de finos perjudiciales y asegurar un rendimiento más consistente en mezclas asfálticas.

Tabla 19*Peso específico, gravedad específica y absorción del agregado (MTC E 205-2016)*

Cantera Murillo: Material: Agregado Grueso Y Fino

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 206)	
DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Peso de la canastilla sumergida (gr)	747
Peso de la Muestra Seca (gr)	3987
Peso de la canastilla + muestra sumergida (gr)	3274
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	4002
Peso del Agua Absorbida (gr)	15
Peso Específico (gr/cm3)	2.70
Capacidad de Absorción (%)	0.38%
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO (MTC E 205)	
DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Volumen del Picnómetro (ml)	500
Peso del Picnómetro (gr)	150.4
Peso de la Muestra Seca (gr)	494.1
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	812.9
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	500.9
Peso del Picnómetro + Agua (gr)	500.9
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	312.0
Peso del Agua Desplazada (gr)	182.1
Peso del Agua Absorbida (gr)	6.8
Peso Específico (gr/cm3)	2.71
Capacidad de Absorción	1.38%

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

En la tabla N° 19 los resultados de los ensayos de peso específico y absorción del agregado grueso y fino de la Cantera Murillo, realizados conforme a las normativas MTC E 205-2016 y MTC E 206, revelan propiedades físicas clave que impactan el diseño y el comportamiento de las mezclas asfálticas en frío. Para el agregado grueso, se registró un peso específico de 2.70 gr/cm³ y una capacidad de absorción del 0.38%. Estos valores indican que el material posee una densidad adecuada y una baja porosidad, lo que es favorable para su uso en mezclas asfálticas, ya que minimiza la cantidad de asfalto que el agregado puede absorber y asegura una mejor adherencia en la mezcla.

En el caso del agregado fino, se obtuvo un peso específico de 2.71 gr/cm³ y una capacidad de absorción del 1.38%. Aunque el valor de absorción es más alto que el del agregado grueso, sigue siendo moderado y controlable, lo que permite mantener una mezcla homogénea. La cercanía en los pesos específicos entre los dos tipos de agregado indica una buena uniformidad, lo cual es importante para la cohesión y estabilidad de la mezcla asfáltica, contribuyendo así a su resistencia y durabilidad.

En conclusión, los agregados de la Cantera Murillo son adecuados para su uso en mezclas asfálticas debido a su buena densidad y baja a moderada capacidad de absorción. Se recomienda mantener un control de calidad riguroso en el proceso de extracción y procesamiento para asegurar la consistencia de estas propiedades. Ambos tipos de agregado muestran características favorables para aplicaciones en mezclas asfálticas en frío, destacando especialmente el bajo porcentaje de absorción del agregado grueso, que reduce la necesidad de ajustes en la proporción de asfalto. Esto garantiza un comportamiento adecuado y duradero del pavimento en condiciones de uso práctico

Tabla 20

Peso específico y absorción del agregado grueso (MTC E 206)

Cantera Pedregal: Material: Agregado Grueso Y Fino

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 206)	
DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Peso de la canastilla sumergida (gr)	745
Peso de la Muestra Seca (gr)	2970
Peso de la canastilla + muestra sumergida (gr)	2642
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	3000
Peso del Agua Absorbida (gr)	30
Peso Específico (gr/cm³)	2.69
Capacidad de Absorción (%)	1.01%
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO (MTC E 205)	
DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Volumen del Picnómetro (ml)	500
Peso del Picnómetro (gr)	151.4

Peso de la Muestra Seca (gr)	494.0
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	960.3
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	501.0
Peso del Picnómetro + Agua (gr)	647.8
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	312.5
Peso del Agua Desplazada (gr)	181.5
Peso del Agua Absorbida (gr)	7.0
Peso Específico (gr/cm³)	2.72
Capacidad de Absorción	1.42%

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

En la tabla N° 20 los ensayos de peso específico y absorción del agregado grueso y fino de la Cantera Murillo, realizados de acuerdo con las normativas MTC E 205-2016 y MTC E 206, brindan información crítica sobre las propiedades físicas de estos materiales, las cuales son determinantes para el diseño y el rendimiento de las mezclas asfálticas en frío. Para el agregado grueso, se registró un peso específico de 2.70 gr/cm³, que indica una densidad adecuada y típica de materiales de buena calidad, esencial para asegurar la estabilidad y resistencia en las aplicaciones asfálticas. Además, su capacidad de absorción de 0.38% es relativamente baja, sugiriendo que el agregado no retendrá una cantidad significativa de asfalto, lo que favorece un mejor control en la mezcla y una óptima adhesión entre el asfalto y el agregado.

En cuanto al agregado fino, los resultados muestran un peso específico de 2.71 gr/cm³, muy similar al del agregado grueso, lo que indica una buena consistencia y favorece la compactación en las mezclas asfálticas. Su capacidad de absorción, aunque más alta que la del grueso (1.38%), permanece dentro de rangos manejables, asegurando que el material no desplace excesiva agua o asfalto y contribuya a la estabilidad de la mezcla. Este comportamiento del agregado fino es importante para mantener la homogeneidad y la cohesión en las aplicaciones asfálticas.

En conclusión, los agregados de la Cantera Murillo presentan propiedades físicas que los hacen idóneos para su uso en mezclas asfálticas, destacando una buena densidad y niveles

de absorción que permiten garantizar la durabilidad y estabilidad de las mezclas. Para optimizar el desempeño del material, se recomienda implementar un control de calidad riguroso en el proceso de extracción y procesamiento. La combinación de baja absorción en el agregado grueso y propiedades manejables en el fino establece un marco favorable para su aplicación en mezclas asfálticas en frío, asegurando un buen desempeño en condiciones prácticas.

Tabla 21

Porcentaje de partículas fracturadas en agregados MTC E 210 - 2016

Cantera Murillo: Material: Agregado Grueso

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO

TAMAÑO DE LOS TAMICES		Peso fracción (g)	Peso partículas fracturadas (g)	Porcentaje partículas fracturadas (%)	Porcentaje retenido original (%)	Porcentaje de caras fracturadas fracción (%)
Pasa	Retenido					
2"	1 1/2"	0	0	0.00	0.00	0.00
1 1/2"	1"	0	0	0.00	0.00	0.00
1"	3/4"	350.1	250.1	71.44	25.78	18.42
3/4"	1/2"	505.1	400.8	79.35	37.20	29.52
1/2"	3/8"	402.4	275.6	68.49	29.63	20.30
3/8"	1/4"	100.3	65.1	64.91	7.39	4.79
Total		1357.9	991.60		100.00	73.02
CRITERIOS DE ACEPTACIÓN		El porcentaje de caras fracturadas de las partículas gruesas que conforman al material es igual a 73.02%			TOLERANCIA	Mínimo 65%
					OBSERVACIÓN	Si cumple

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

En la tabla N° 21 los resultados del ensayo de porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso de la Cantera Murillo, realizados conforme a la normativa MTC E 210 - 2016, son fundamentales para evaluar la calidad y resistencia del material, aspectos importantes para el rendimiento de las mezclas asfálticas en frío. El porcentaje total de caras fracturadas se estableció en un notable 73.02%, superando el mínimo requerido del 65%. Este alto nivel de angularidad y textura superficial no solo favorece el interbloqueo entre los agregados, sino que también mejora la adherencia al asfalto, contribuyendo así a la estabilidad y durabilidad del pavimento.

El análisis de las fracciones de tamaño revela que las partículas de 3/4" a 1/2" y de 1" a 3/4" presentan los porcentajes más altos de fractura, 79.35% y 71.44% respectivamente, lo que implica una excelente contribución a la resistencia estructural de la mezcla. Aunque las fracciones menores muestran porcentajes ligeramente inferiores, aún son razonablemente altos, lo que sugiere que incluso las partículas más pequeñas aportan adecuadamente a la cohesión de la mezcla. La fracción de 3/4" a 1/2" representa la mayor contribución en peso, lo que resalta la importancia de estas partículas en el interbloqueo y la estabilidad general de la mezcla asfáltica. Finalmente, el agregado grueso de la Cantera Murillo cumple con las especificaciones necesarias para su uso en mezclas asfálticas, con una alta proporción de caras fracturadas que asegura un buen comportamiento físico-mecánico. Se recomienda su uso en capas de rodadura y base, especialmente en áreas de alto tránsito, donde se requiere una mayor durabilidad y resistencia a la fatiga. Para mantener estas características, es vital implementar un control de calidad continuo en el proceso de extracción y procesamiento del material, garantizando que las propiedades del agregado se mantengan consistentes y adecuadas para el diseño de mezclas asfálticas efectivas

Tabla 22

Porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso

Cantera Pedregal: Material: Agregado Grueso

TAMAÑO DE LOS TAMICES		Peso fracción (g)	Peso partículas fracturadas (g)	Porcentaje partículas fracturadas (%)	Porcentaje retenido original (%)	Porcentaje de caras fracturadas fracción (%)
Pasa	Retenido					
2"	1 1/2"	0	0	0.00	0.00	0.00
1 1/2"	1"	0	0	0.00	0.00	0.00
1"	3/4"	520.2	405.8	78.01	35.42	27.63
3/4"	1/2"	715.4	481.6	67.32	48.71	32.79
1/2"	3/8"	157.2	110.6	70.36	10.70	7.53
3/8"	1/4"	75.9	54.8	72.20	5.17	3.73
Total		1468.7	1052.80		100.00	71.68
Criterios De Aceptación		El porcentaje de caras fracturadas de las partículas gruesas que conforman al material es igual a 71.68%			TOLERANCIA	Mínimo 65%
					OBSERVACIÓN	Si cumple

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

En la tabla N° 22 los resultados del ensayo sobre el porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso de la Cantera Pedregal, realizados conforme a la normativa MTC E 210 - 2016, son fundamentales para evaluar la calidad del material destinado a mezclas asfálticas en frío. Con un porcentaje total de caras fracturadas del 71.68%, que supera el mínimo exigido del 65%, se concluye que el material cuenta con una adecuada cantidad de partículas angulares y rugosas. Estas características son esenciales, ya que favorecen el interbloqueo entre los agregados, mejorando así la estabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica.

El análisis por fracción de tamaño revela que las partículas de 1" a 3/4" presentan el porcentaje más alto de fracturas, alcanzando un 78.01%, y representan el 35.42% del peso total. Esta fracción es crítica para el rendimiento estructural de la mezcla. Las fracciones de 1/2" a 3/8" y de 3/8" a 1/4" también muestran porcentajes aceptables de caras fracturadas, lo que indica que, aunque ligeramente menores, estas contribuyen de manera efectiva al interbloqueo. En general, la combinación de altas proporciones de partículas fracturadas en diversas fracciones garantiza un rendimiento sólido de la mezcla asfáltica.

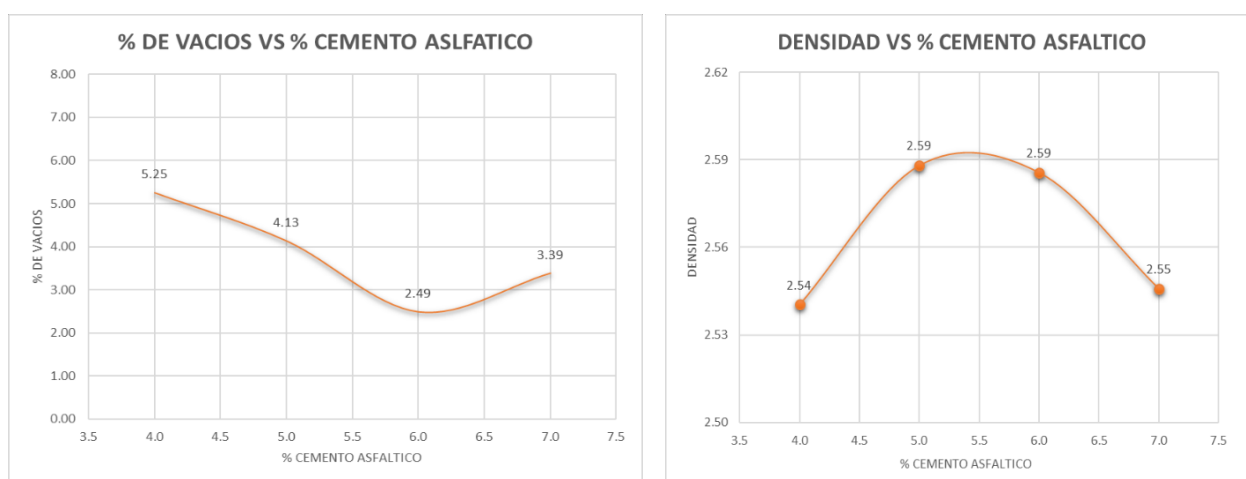
En conclusión, el agregado grueso de la Cantera Pedregal cumple con los requisitos de calidad necesarios para su uso en mezclas asfálticas, presentando una alta proporción de caras fracturadas que asegura un comportamiento físico-mecánico óptimo. Se recomienda su aplicación en capas de rodadura y base, donde se requiere mayor resistencia estructural. No obstante, es importante establecer un control de calidad continuo en el proceso de extracción para mantener estas propiedades, ya que cualquier variación podría afectar negativamente la calidad del material en el futuro. En resumen, este agregado es adecuado para contribuir a la durabilidad y estabilidad del pavimento en proyectos de construcción de mezclas asfálticas.

Tabla 23
Densidad y porcentaje de vacíos – Cantera Murillo

Densidad Y % de Vacíos						
% de asfalto	Datos	Peso Al Aire (gr/cm ³)	Peso Sumergido (gr/cm ³)	Peso Saturado (gr/cm ³)	Densidad Total (gr/cm ³)	Vacíos (%)
4	PESO ESPECIFICO	1281.67	729.00	1214.33	2.54	5.25
5	PESO ESPECIFICO	1346.33	735.33	1290.67	2.59	4.13
6	PESO ESPECIFICO	1286.33	742.00	1254.33	2.59	2.49
7	PESO ESPECIFICO	1328.67	728.67	1283.67	2.55	3.39

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 14
Densidad y porcentaje de vacíos – Cantera Murillo



En la tabla N° 23 los resultados de la evaluación de densidad y porcentaje de vacíos del agregado de la Cantera Murillo, presentados en la tabla correspondiente, ofrecen información crítica sobre las propiedades físicas del material, que son esenciales para el diseño de mezclas asfálticas. La densidad total varía entre 2.54 y 2.59 gr/cm³, lo que indica que el agregado tiene una consistencia adecuada y estable, apta para su uso en aplicaciones de pavimentación. Además, los porcentajes de vacíos, que oscilan entre 2.49% y 5.25%, sugieren una baja porosidad del material, lo que es favorable para asegurar la durabilidad y resistencia de las mezclas asfálticas en frío.

Al analizar los datos de densidad y porcentaje de vacíos a diferentes porcentajes de asfalto, se observa que un porcentaje de 4% de asfalto presenta el mayor porcentaje de vacíos

(5.25%). Este resultado podría indicar que a menores contenidos de asfalto, la mezcla tiende a presentar una mayor porosidad, lo que podría afectar la adherencia y la cohesión entre los componentes de la mezcla asfáltica. A medida que se incrementa el porcentaje de asfalto, los vacíos disminuyen, lo que es una tendencia deseada en el diseño de mezclas, ya que una menor porosidad contribuye a una mejor integración del asfalto con el agregado.

En resumen, los resultados obtenidos de la Cantera Murillo reflejan que el agregado posee características físicas adecuadas, con densidades totales que cumplen con los estándares necesarios para mezclas asfálticas y porcentajes de vacíos que indican una buena compactación del material. Estos aspectos son fundamentales para garantizar la estabilidad y durabilidad de las pavimentaciones. Se recomienda, sin embargo, considerar cuidadosamente el contenido de asfalto en las mezclas para optimizar la adherencia y minimizar los vacíos, lo que a su vez contribuirá a la longevidad y resistencia del pavimento

Tabla 24

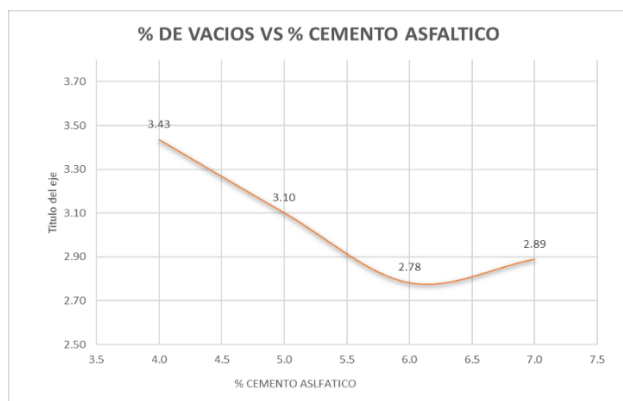
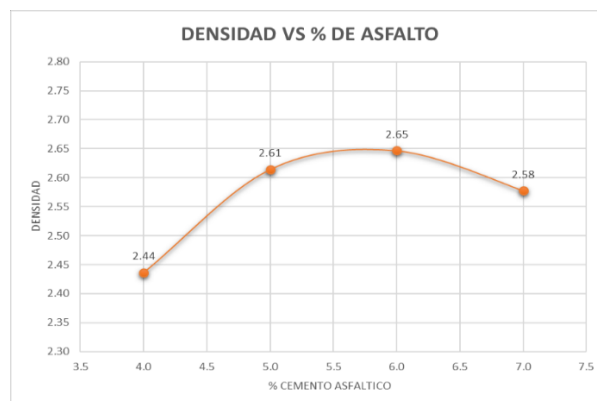
Densidad y porcentaje de vacíos – Cantera Pedregal

% de asfalto	Datos	Densidad y % de vacíos				
		Peso Al Aire (gr/cm ³)	Peso Sumergido (gr/cm ³)	Peso Saturado (gr/cm ³)	Densidad Total (gr/cm ³)	Vacíos (%)
4	DENSIDAD Y VACIOS	1252.33	694.67	1209.33	2.44	3.43
5	DENSIDAD Y VACIOS	1236.67	725.00	1198.33	2.61	3.10
6	DENSIDAD Y VACIOS	1246.67	740.33	1212.00	2.65	2.78
7	DENSIDAD Y VACIOS	1258.00	733.67	1221.67	2.58	2.89

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 15

Densidad y porcentaje de vacíos – Cantera Murillo



En la tabla N° 24 los resultados del análisis de densidad y porcentaje de vacíos del agregado de la Cantera Pedregal proporcionan información valiosa sobre las propiedades físicas del material, esenciales para su aplicación en mezclas asfálticas. Las densidades totales obtenidas varían entre 2.44 y 2.65 gr/cm³, lo que sugiere que el agregado posee una calidad adecuada para su uso en la construcción de pavimentos. Este rango de densidad es fundamental, ya que una mayor densidad generalmente se traduce en un mejor comportamiento mecánico y estructural del material en aplicaciones de pavimentación.

En cuanto a los porcentajes de vacíos, estos fluctúan entre 2.78% y 3.43%, indicando una porosidad moderada del agregado. Un porcentaje de vacíos del 3.43% se registra con un contenido de asfalto del 4%, y aunque este es el mayor valor de vacíos, sigue siendo aceptable para mezclas asfálticas. La tendencia general muestra que, a medida que aumenta el porcentaje de asfalto, el porcentaje de vacíos tiende a disminuir, lo cual es deseable, ya que una menor porosidad contribuye a una mejor cohesión y adherencia entre el asfalto y el agregado, resultando en una mezcla más duradera.

En resumen, los resultados de la Cantera Pedregal indican que el agregado cumple con las especificaciones necesarias en términos de densidad y porcentaje de vacíos, lo que lo hace adecuado para su uso en mezclas asfálticas. Las características físicas observadas aseguran la estabilidad y resistencia del pavimento. Para maximizar el rendimiento de las mezclas, se recomienda continuar monitoreando el contenido de asfalto y los niveles de porosidad, asegurando así que se mantengan dentro de los rangos óptimos para aplicaciones específicas.

Tabla 25

Flujo (mm) VS % de asfalto – Cantera Murillo

% de asfalto	Datos	1	2	3	Promedio
4	FLUJO (mm)	4.12	5.02	3.22	4.12
5	FLUJO (mm)	5.01	5.76	3.38	4.72
6	FLUJO (mm)	5.18	5.83	4.04	5.02
7	FLUJO (mm)	4.98	5.04	4.99	5.00

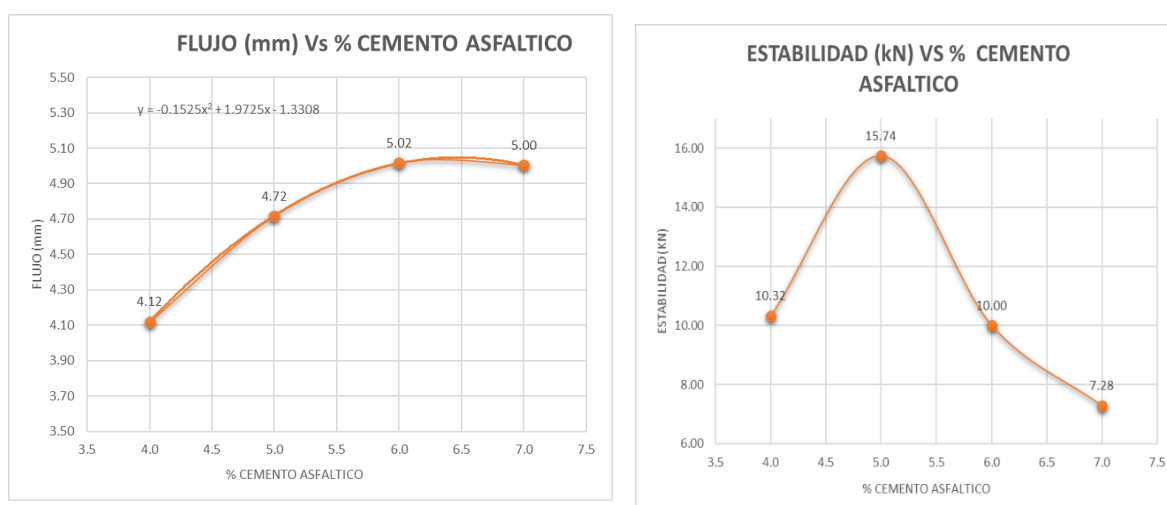
Estabilidad (mm) VS % cemento de asfalto

% de asfalto	Datos	1	2	3	Promedio (KN)
4	ESTABILIDAD (KN)	10.79	9.97	10.19	10.32
5	ESTABILIDAD (KN)	16.56	16.63	14.04	15.74
6	ESTABILIDAD (KN)	10.43	8.99	10.59	10.00
7	ESTABILIDAD (KN)	8.82	8.45	4.57	7.28

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 16

Flujo y estabilidad – Cantera Murillo



En la tabla N° 25 los resultados obtenidos del análisis de flujo y estabilidad de las mezclas asfálticas de la Cantera Murillo ofrecen información importante sobre el comportamiento de los materiales en función del porcentaje de asfalto utilizado. En el estudio de flujo, se observan promedios que varían entre 4.12 mm y 5.02 mm conforme se aumenta el porcentaje de asfalto. El flujo promedio más bajo, de 4.12 mm, se registra al 4% de asfalto, indicando una mezcla relativamente más rígida. En contraste, un incremento al 6% de asfalto genera un flujo promedio de 5.02 mm, lo que sugiere una mayor fluidez en la mezcla, lo cual es un aspecto positivo, ya que una adecuada trabajabilidad es fundamental durante la aplicación y compactación del asfalto.

En cuanto a la estabilidad, los resultados son igualmente significativos. Para un 4% de asfalto, el promedio de estabilidad se establece en 10.32 KN, que indica una resistencia moderada

bajo carga. A medida que se aumenta el porcentaje de asfalto al 5%, se alcanza un promedio notable de 15.74 KN, reflejando una mejora en la capacidad de la mezcla para resistir cargas. Sin embargo, al 6% y 7% de asfalto, la estabilidad disminuye a 10.00 KN y 7.28 KN, respectivamente. Este comportamiento sugiere que, aunque un incremento en el asfalto inicialmente mejora la estabilidad, más allá de un cierto punto puede llevar a un deterioro en la capacidad de carga, posiblemente debido a un exceso de ligante que impide una adecuada interconexión entre los agregados.

En resumen, los resultados indican que el contenido de asfalto en las mezclas de la Cantera Murillo influye de manera significativa en sus propiedades de flujo y estabilidad. Se concluye que un contenido óptimo de asfalto no solo proporciona una adecuada fluidez, sino que también maximiza la estabilidad, asegurando el rendimiento deseado de las mezclas asfálticas. Es recomendable realizar más estudios para determinar el porcentaje óptimo de asfalto que garantice un balance entre fluidez y estabilidad, permitiendo así una mezcla más efectiva y durable para su uso en pavimentos

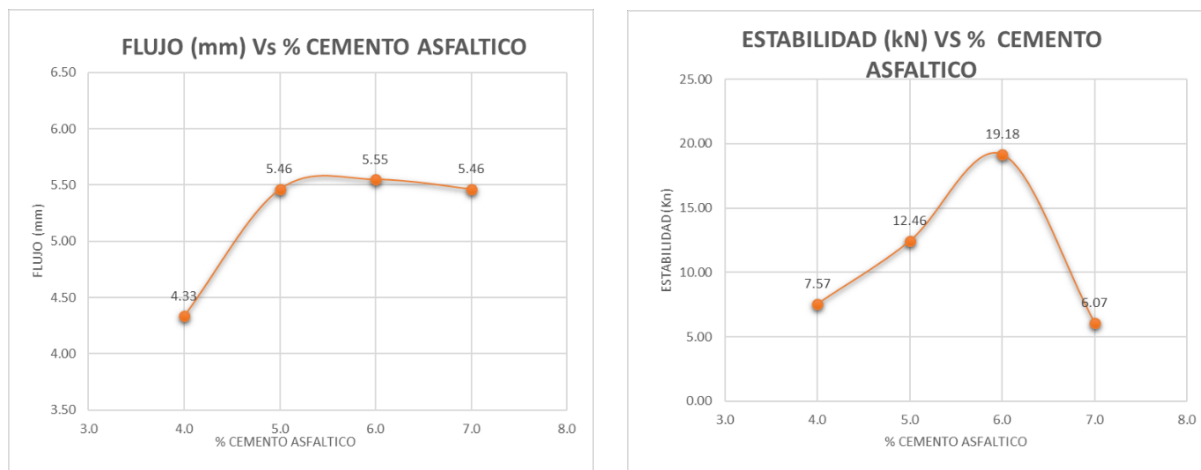
Tabla 26
Flujo (mm) VS % de asfalto – Cantera Pedregal

Flujo (mm) VS % de asfalto					
% de asfalto	DATOS	1	2	3	Promedio
4	FLUJO (mm)	4.95	3.82	4.23	4.33
5	FLUJO (mm)	8.41	4.89	3.09	5.46
6	FLUJO (mm)	4.84	4.96	6.85	5.55
7	FLUJO (mm)	5.65	5.08	5.66	5.46
Estabilidad (mm) VS % cemento de asfalto					
% de asfalto	Datos	1	2	3	Promedio (KN)
4	ESTABILIDAD (KN)	7.78	8.24	6.68	7.57
5	ESTABILIDAD (KN)	12.15	12.75	12.47	12.46
6	ESTABILIDAD (KN)	17.94	20.06	19.54	19.18
7	ESTABILIDAD (KN)	5.27	4.84	8.1	6.07

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 17

Flujo (mm) VS % de asfalto – Cantera Pedregal



En la tabla N° 26 los resultados del análisis de flujo y estabilidad de las mezclas asfálticas de la Cantera Pedregal proporcionan información valiosa sobre cómo el contenido de asfalto afecta el comportamiento de los materiales. En la evaluación de flujo, se registran promedios que oscilan entre 4.33 mm y 5.55 mm, dependiendo del porcentaje de asfalto. Al 4% de asfalto, el promedio de flujo es de 4.33 mm, indicando una mezcla relativamente rígida y menos fluida. Sin embargo, al aumentar el contenido de asfalto al 5%, se observa un incremento significativo en el flujo, alcanzando un promedio de 5.46 mm, lo que sugiere una mayor trabajabilidad de la mezcla. A medida que se incrementa al 6% y 7% de asfalto, el flujo se mantiene en niveles similares, con promedios de 5.55 mm y 5.46 mm, respectivamente, indicando que la fluidez se estabiliza en estos niveles de asfalto.

En cuanto a la estabilidad, se registran resultados que muestran una tendencia a la mejora conforme aumenta el porcentaje de asfalto, al menos hasta un cierto punto. Para un 4% de asfalto, el promedio de estabilidad se establece en 7.57 KN, lo que indica una capacidad de carga moderada. Al incrementar al 5%, la estabilidad aumenta notablemente a un promedio de 12.46 KN, reflejando un buen desempeño de la mezcla bajo carga. El incremento más significativo se observa al 6% de asfalto, donde se alcanza un promedio de 19.18 KN, lo que sugiere una mejora en la resistencia de la mezcla. Sin embargo, al llegar al 7%, la estabilidad

disminuye drásticamente a 6.07 KN, sugiriendo que un exceso de asfalto puede comprometer la interconexión entre los agregados, reduciendo la capacidad de carga.

En resumen, los resultados indican que el contenido de asfalto en las mezclas de la Cantera Pedregal tiene un impacto significativo en las propiedades de flujo y estabilidad. Se concluye que un contenido moderado de asfalto (alrededor del 5% a 6%) parece ofrecer un equilibrio óptimo entre fluidez y estabilidad, mejorando el rendimiento general de la mezcla asfáltica. Es recomendable realizar estudios adicionales para determinar el contenido óptimo de asfalto que maximice estas propiedades y, por ende, asegure la durabilidad y funcionalidad del pavimento en condiciones de tráfico

Tabla 27

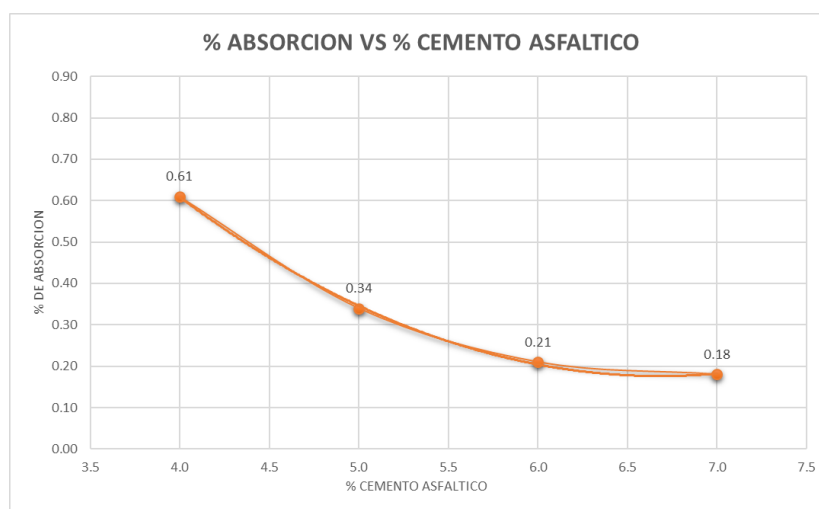
Índice y coeficiente de absorción: Cantera Murillo

Índice Y % de absorción				
% DE ASFALTO	Muestra N. ^a	Peso de la muestra inicial (gr)	Peso del Agua Absorbida (gr)	% de Absorción
4	Muestra 01	1248.33	7.67	0.61%
5	Muestra 01	1259.00	4.33	0.34%
6	Muestra 01	1276.33	2.67	0.21%
7	Muestra 01	1265.33	2.33	0.18%

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 18

Índice y coeficiente de absorción: Cantera Murillo



En la tabla N° 27 los resultados obtenidos del análisis de índice y coeficiente de absorción del agregado de la Cantera Murillo son fundamentales para evaluar su idoneidad en la formulación de mezclas asfálticas. Al analizar el porcentaje de absorción en función del contenido de asfalto, se observa que la muestra con un 4% de asfalto presenta un peso inicial de 1248.33 g y una absorción de 7.67 g, resultando en un porcentaje de absorción del 0.61%. Este valor es considerablemente más alto en comparación con las muestras que contienen un 5%, 6% y 7% de asfalto, donde se registran porcentajes de absorción de 0.34%, 0.21% y 0.18%, respectivamente. Esta tendencia indica que a medida que aumenta el contenido de asfalto, la capacidad del agregado para absorber agua disminuye.

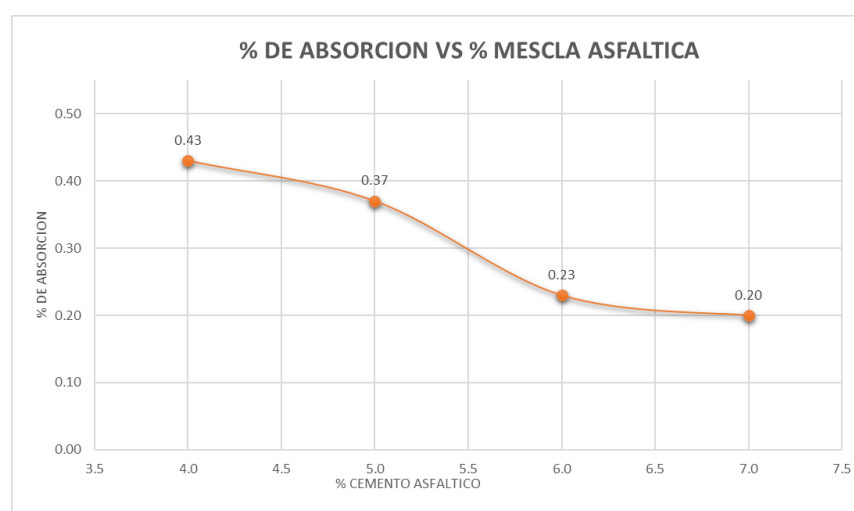
La reducción en el porcentaje de absorción de las muestras con mayor contenido de asfalto puede atribuirse a un aumento en la cobertura asfáltica que protege el agregado, lo que reduce su exposición al agua. Es importante destacar que la baja absorción de agua en las muestras con mayor porcentaje de asfalto es un indicativo de la efectividad del recubrimiento asfáltico, que es esencial para prevenir la degradación del material y mejorar la durabilidad de las mezclas asfálticas. En términos de rendimiento, una menor absorción de agua es deseable, ya que contribuye a una mayor estabilidad y resistencia de la mezcla ante condiciones ambientales adversas.

En conclusión, los datos sobre la absorción del agregado de la Cantera Murillo demuestran una relación inversa entre el porcentaje de asfalto y la capacidad de absorción de agua. Los porcentajes de absorción más bajos observados en las muestras con un 6% y 7% de asfalto sugieren que estas combinaciones pueden ofrecer un mejor rendimiento en términos de durabilidad y resistencia a la humedad. Se recomienda considerar estos resultados al diseñar mezclas asfálticas, asegurando que se utilicen proporciones de asfalto que optimicen la impermeabilidad del material y, por ende, su rendimiento a largo plazo.

Tabla 28*Índice y porcentaje de absorción: Cantera Pedregal*

Índice y % de absorción				
% DE ASFALTO	Muestra N.º	Peso de la muestra inicial (gr)	Peso del Agua Absorbida (gr)	% de Absorción
4	Muestra 01	1249.00	5.33	0.43%
5	Muestra 01	1261.33	4.67	0.37%
6	Muestra 01	1280.00	3.00	0.23%
7	Muestra 01	1280.53	2.53	0.20%

Nota. Datos obtenidos de la prueba en laboratorio

Figura 19*Índice y porcentaje de absorción: Cantera Pedregal*

En la tabla N° 28 los resultados obtenidos del análisis del índice y porcentaje de absorción del agregado de la Cantera Pedregal son esenciales para determinar la calidad del material para mezclas asfálticas. Al examinar el porcentaje de absorción en función del contenido de asfalto, se observa que la muestra con un 4% de asfalto presenta un peso inicial de 1249.00 g y una absorción de 5.33 g, lo que resulta en un porcentaje de absorción del 0.43%. A medida que aumenta el contenido de asfalto en las muestras, se evidencia una disminución progresiva en la capacidad de absorción; así, las muestras con un 5%, 6% y 7% de asfalto muestran porcentajes de absorción de 0.37%, 0.23% y 0.20%, respectivamente.

Esta tendencia refleja que el aumento en la proporción de asfalto no solo incrementa la cohesión del material, sino que también disminuye su porosidad, lo que a su vez reduce la

absorción de agua. La menor cantidad de agua absorbida en las muestras con mayor contenido de asfalto es un indicativo de que estas están mejor protegidas contra la humedad, lo que es importante para la durabilidad y resistencia de la mezcla asfáltica. Esto es especialmente relevante en condiciones ambientales adversas, donde la penetración de agua puede llevar a la degradación del material y, por ende, afectar la integridad estructural de las capas asfálticas.

En conclusión, los datos sobre la absorción del agregado de la Cantera Pedregal demuestran que un mayor contenido de asfalto contribuye a una menor absorción de agua, lo que sugiere una mejor impermeabilidad y estabilidad de las mezclas asfálticas. Los porcentajes de absorción más bajos observados en las muestras con un 6% y 7% de asfalto indican que estas formulaciones son preferibles para aplicaciones donde la resistencia a la humedad es crítica. Por lo tanto, se recomienda considerar estos resultados al momento de diseñar mezclas asfálticas para asegurar un rendimiento óptimo y una mayor durabilidad en el tiempo.

Resultados descriptivos

Tabla 29

Índice y porcentaje de absorción: Cantera Murillo

	Malo		Regular		Bueno		Total	
	f	%	f	%	f	%	f	%
Peso específico (Murillo)	0	0	3	30	7	70	10	100
Angularidad del material granular (Murillo)	0	0	2	20	8	80	10	100
Granulometría del material granular (Murillo)	0	0	4	40	6	60	10	100
Abrasión del material granular (Murillo)	0	0	6	60	4	40	10	100
Calidad del material granular (Murillo)	0	0	3	30	7	70	10	100
Absorción de la mezcla asfáltica (Murillo)	0	0	2	20	8	80	10	100
Densidad de la mezcla asfáltica (Murillo)	0	0	2	20	8	80	10	100
Flujo de mezcla asfáltica (Murillo)	0	0	2	20	8	80	10	100
Estabilidad de la mezcla asfáltica (Murillo)	0	0	2	20	8	80	10	100
Comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío (Murillo)	0	0	2	20	8	80	10	100

Nota. Proviene de la aplicación del cuestionario

En la tabla N° 29 los resultados del índice y porcentaje de absorción de los materiales de la cantera Murillo presentan una distribución favorable en su mayoría, especialmente en la categoría "Bueno", que refleja una alta calidad del material en varios aspectos clave. Para cada uno de los criterios evaluados, el porcentaje de material clasificado como "Bueno" varía entre un 60% y un 80%, lo que indica que la mayoría de las muestras cumplen con los estándares esperados en términos de características como peso específico, angularidad, granulometría, abrasión, calidad del material, absorción de la mezcla asfáltica, densidad, flujo, estabilidad y comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío.

Específicamente, en cuanto al peso específico, la angularidad del material y la granulometría, los resultados muestran que un 70% a 80% de las muestras se clasifican como "Buenas", lo que refleja una calidad superior del material. En el caso de la abrasión y la calidad del material

granular, un 40% y un 30% de las muestras fueron clasificadas como "Buenas", respectivamente. En cuanto a la mezcla asfáltica, la absorción, densidad, flujo y estabilidad muestran igualmente un 80% de clasificación como "Buena". Esto sugiere que la cantera Murillo produce materiales con características adecuadas para ser utilizados en mezclas asfálticas, aunque los resultados de abrasión y calidad del material granular podrían necesitar algunas mejoras para alcanzar un nivel más homogéneo en todos los parámetros evaluados.

De igual forma, los materiales de la cantera Murillo presentan un alto porcentaje de calidad en las categorías más relevantes para la producción de mezclas asfálticas, especialmente en los aspectos que afectan la durabilidad y resistencia de las mezclas. La cantera cumple adecuadamente con los criterios establecidos, lo que sugiere que los materiales extraídos son adecuados para aplicaciones en construcción y pavimentación, aunque algunas áreas de mejora en abrasión y calidad del material granular podrían optimizar aún más los resultados.

Tabla 30

Índice y porcentaje de absorción: Cantera Pedregal

	Malo		Regular		Bueno		Total	
	f	%	f	%	f	%	f	%
Peso específico (Pedregal)	0	0	3	30	7	70	10	100
Angularidad del material granular (Pedregal)	0	0	2	20	8	80	10	100
Granulometría del material granular (Pedregal)	0	0	4	40	6	60	10	100
Abrasión del material granular (Pedregal)	0	0	6	60	4	40	10	100
Calidad del material granular (Pedregal)	0	0	3	30	7	70	10	100
Absorción de la mezcla asfáltica (Pedregal)	0	0	2	20	8	80	10	100
Densidad de la mezcla asfáltica (Pedregal)	0	0	2	20	8	80	10	100
Flujo de mezcla asfáltica (Pedregal)	0	0	2	20	8	80	10	100
Estabilidad de la mezcla asfáltica (Pedregal)	0	0	2	20	8	80	10	100
Comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío (Pedregal)	0	0	2	20	8	80	10	100

Nota. Proviene de la aplicación del cuestionario

En la tabla N° 30 los resultados del índice y porcentaje de absorción de los materiales de la cantera Pedregal muestran una alta calidad en la mayoría de los parámetros evaluados, similar a los resultados obtenidos en la cantera Murillo. En todos los aspectos clave relacionados con las características del material, como peso específico, angularidad, granulometría, abrasión, calidad del material granular, absorción de la mezcla asfáltica, densidad, flujo, estabilidad y comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío, el 70% a 80% de las muestras fueron clasificadas como "Buenas". Esto indica que una gran proporción del material de la cantera Pedregal cumple con los estándares deseados para su uso en pavimentación y construcción.

Específicamente, en cuanto al peso específico, la angularidad y la granulometría, los resultados son sobresalientes, con un 70% a 80% de muestras clasificadas como "Buenas". Sin embargo, en cuanto a la abrasión y la calidad del material granular, el porcentaje de muestras clasificadas como "Buenas" es algo menor, con un 40% y un 30%, respectivamente, lo que sugiere que estos aspectos podrían requerir una mayor atención. No obstante, en cuanto a la mezcla asfáltica, las características como absorción, densidad, flujo y estabilidad muestran una alta calidad, con un 80% de muestras clasificadas como "Buenas", lo que resalta la idoneidad del material para su uso en mezclas asfálticas.

Corroborando, se afirma que los materiales de la cantera Pedregal presentan una calidad general adecuada para su aplicación en la construcción y pavimentación, especialmente en lo que respecta a los parámetros más relevantes para la durabilidad y resistencia de las mezclas asfálticas. Aunque algunos aspectos como la abrasión y la calidad del material granular podrían mejorarse, en general, los resultados son positivos, y el material es adecuado para su uso en la industria de la construcción, con un rendimiento confiable en la mayoría de los parámetros evaluados.

Prueba de hipótesis general

Ho: La calidad del material granular no influye significativamente en el comportamiento físico - mecánico de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

H: La calidad del material granular influye significativamente en el comportamiento físico - mecánico de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

Tabla 31

Contraste de hipótesis general

	Chi cuadrado	gl	Sig	Pseudo R cuadrado	
Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico - mecánico de la mezcla asfáltica en frío. Murillo	6,189	1	,013	Cox y Snell	,461
				Nagelkerke	,654
				McFadden.	,507
Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico - mecánico de la mezcla asfáltica en frío. Pedregal	7,719	1	,005	Cox y Snell	,538
				Nagelkerke	,763
				McFadden.	,632

Nota. Datos extraídos de la base de datos

En la tabla N° 31 el contraste de la hipótesis general sobre la "Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío", se analizan dos canteras: Murillo y Pedregal. Para la cantera Murillo, el valor de Chi cuadrado es de 6.189 con 1 grado de libertad y una significancia de 0.013, lo que indica que existe una relación estadísticamente significativa entre la calidad del material granular y el comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío. Esto sugiere que la calidad del material granular tiene un impacto relevante en las propiedades de la mezcla asfáltica en frío. Los valores de Pseudo R cuadrado, como el de Cox y Snell (0.461), Nagelkerke (0.654) y McFadden (0.507), muestran un ajuste moderado del modelo, con un 46.1% de variabilidad explicada por el modelo en Cox y Snell, un 65.4% en Nagelkerke y un 50.7% en McFadden, lo que sugiere que el modelo tiene una capacidad explicativa razonable pero no perfecta.

En el caso de la cantera Pedregal, el valor de Chi cuadrado es de 7.719 con 1 grado de libertad y una significancia de 0.005, lo que también indica una relación estadísticamente significativa, similar a los resultados obtenidos para Murillo. Este valor también sugiere que la calidad del material granular influye significativamente en el comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío en la cantera Pedregal. Los valores de Pseudo R cuadrado para Pedregal, como el de Cox y Snell (0.538), Nagelkerke (0.763) y McFadden (0.632), reflejan un ajuste mejorado en comparación con Murillo, con un 53.8% de variabilidad explicada en Cox y Snell, un 76.3% en Nagelkerke y un 63.2% en McFadden. Estos resultados indican que el modelo para la cantera Pedregal tiene una mayor capacidad explicativa, lo que sugiere una mejor relación entre la calidad del material granular y las propiedades físicas de la mezcla asfáltica en frío.

En resumen, ambos modelos (para Murillo y Pedregal) muestran que la calidad del material granular tiene un impacto significativo en el comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica en frío. Sin embargo, el modelo para la cantera Pedregal tiene una mayor capacidad explicativa, lo que sugiere que la calidad del material granular en Pedregal podría estar más directamente relacionada con las características de la mezcla asfáltica en frío.

Prueba de hipótesis específica 1

Ho: La calidad del material granular de las canteras del distrito de Abancay, 2025, no cumplen con las exigencias correspondientes.

H: La calidad del material granular de las canteras del distrito de Abancay, 2025, cumplen con las exigencias correspondientes.

Con los resultados obtenidos a nivel descriptivo se demuestra que el material granular de las canteras si cumplen con las exigencias para poder llevar a cabo el asfaltado en frío.

Prueba de hipótesis específica 2

Ho: Las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frío no cumplen con los estándares exigidos.

H: Las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frío cumplen con los estándares exigidos.

Con los resultados obtenidos a nivel descriptivo se demuestra que las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frío sí cumplen con los estándares exigidos.

Prueba de hipótesis específica 3

Ho: La calidad del material granular no influye significativamente en el comportamiento físico de absorción de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

H: La calidad del material granular influye significativamente en el comportamiento físico de absorción de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

Tabla 32

Contraste de hipótesis específica 3

	Chi cuadrado	gl	Sig	Pseudo R cuadrado	
Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico de absorción de la mezcla asfáltica en frío. Murillo	6,189	1	,013	Cox y Snell	,461
				Nagelkerke	,654
				McFadden.	,507
Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico de absorción de la mezcla asfáltica en frío. Pedregal	7,719	1	,005	Cox y Snell	,538
				Nagelkerke	,763
				McFadden.	,632

Nota. Datos extraídos de la base de datos

En la tabla N° 32 el contraste de la hipótesis específica 3 sobre la "Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico de absorción de la mezcla asfáltica en frío", los resultados muestran que tanto en la cantera Murillo como en la cantera Pedregal,

existe una relación estadísticamente significativa entre la calidad del material granular y la absorción de la mezcla asfáltica en frío. Para la cantera Murillo, el valor de Chi cuadrado es de 6.189 con 1 grado de libertad y una significancia de 0.013, lo que indica que la calidad del material granular tiene un impacto significativo en la absorción de la mezcla asfáltica en frío. Los valores de Pseudo R cuadrado para Murillo (Cox y Snell 0.461, Nagelkerke 0.654, McFadden 0.507) muestran un ajuste moderado del modelo, con un 46.1% de variabilidad explicada en Cox y Snell, un 65.4% en Nagelkerke y un 50.7% en McFadden. Estos resultados sugieren que el modelo tiene una capacidad explicativa razonable, pero hay espacio para mejorar la precisión del modelo.

En el caso de la cantera Pedregal, el valor de Chi cuadrado es de 7.719 con 1 grado de libertad y una significancia de 0.005, lo que también indica una relación significativa entre la calidad del material granular y la absorción de la mezcla asfáltica en frío, similar a los resultados obtenidos para Murillo. Los valores de Pseudo R cuadrado para Pedregal (Cox y Snell 0.538, Nagelkerke 0.763, McFadden 0.632) reflejan un ajuste mejorado en comparación con los resultados para Murillo. En este caso, el modelo explica un 53.8% de la variabilidad en Cox y Snell, un 76.3% en Nagelkerke y un 63.2% en McFadden, lo que indica una capacidad explicativa más alta y sugiere que la calidad del material granular en Pedregal tiene una relación más fuerte con la absorción de la mezcla asfáltica en frío.

Además, los resultados del contraste de la hipótesis específica 3 muestran que la calidad del material granular influye significativamente en la absorción de la mezcla asfáltica en frío en ambas canteras. Sin embargo, el modelo para la cantera Pedregal tiene una mayor capacidad explicativa, lo que sugiere que la relación entre la calidad del material y la absorción de la mezcla es más fuerte y clara en Pedregal. Esto podría implicar que los procesos de extracción y tratamiento de los materiales en Pedregal favorecen una mejor adaptación a los parámetros deseados en la mezcla asfáltica.

Prueba de hipótesis específica 4

Ho: La calidad del material granular no influye significativamente en el comportamiento físico de densidad de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

H: La calidad del material granular influye significativamente en el comportamiento físico de densidad de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

Tabla 33

Contraste de hipótesis específica 4

	Chi cuadrado	gl	Sig	Pseudo R cuadrado	
Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico de densidad de la mezcla asfáltica en frío. Murillo	6,189	1	,013	Cox y Snell	,461
				Nagelkerke	,654
				McFadden.	,507
Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico de densidad de la mezcla asfáltica en frío. Pedregal	7,719	1	,005	Cox y Snell	,538
				Nagelkerke	,763
				McFadden.	,632

Nota. Datos extraídos de la base de datos

En la tabla N° 33 el contraste de la hipótesis específica 4 sobre la "Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico de densidad de la mezcla asfáltica en frío", los resultados para las canteras Murillo y Pedregal muestran una relación estadísticamente significativa entre la calidad del material granular y la densidad de la mezcla asfáltica en frío. Para la cantera Murillo, el valor de Chi cuadrado es de 6.189 con 1 grado de libertad y una significancia de 0.013, lo que indica que la calidad del material granular tiene un impacto relevante en la densidad de la mezcla asfáltica en frío. Los valores de Pseudo R cuadrado para Murillo (Cox y Snell 0.461, Nagelkerke 0.654, McFadden 0.507) sugieren que el modelo tiene una capacidad explicativa moderada. El modelo explica aproximadamente el 46.1% de la variabilidad en Cox y Snell, el 65.4% en Nagelkerke y el 50.7% en McFadden, lo

que refleja un buen ajuste, aunque todavía existe un margen para mejorar la capacidad explicativa del modelo.

Para la cantera Pedregal, el valor de Chi cuadrado es de 7.719 con 1 grado de libertad y una significancia de 0.005, lo que también muestra una relación estadísticamente significativa entre la calidad del material granular y la densidad de la mezcla asfáltica en frío, similar a los resultados obtenidos para Murillo. Los valores de Pseudo R cuadrado para Pedregal (Cox y Snell 0.538, Nagelkerke 0.763, McFadden 0.632) muestran un ajuste más fuerte en comparación con Murillo. En este caso, el modelo explica un 53.8% de la variabilidad en Cox y Snell, un 76.3% en Nagelkerke y un 63.2% en McFadden, lo que sugiere que el modelo tiene una mayor capacidad explicativa y que la relación entre la calidad del material granular y la densidad de la mezcla asfáltica es más clara y consistente en Pedregal.

De igual forma, en Murillo como en Pedregal, la calidad del material granular influye significativamente en la densidad de la mezcla asfáltica en frío. Sin embargo, el modelo para la cantera Pedregal tiene una capacidad explicativa superior, lo que indica una relación más fuerte entre la calidad del material y las propiedades de la mezcla asfáltica. Esto sugiere que el material granular de Pedregal tiene características más consistentes y favorables para la fabricación de mezclas asfálticas de mayor densidad, lo cual es beneficioso para la durabilidad y la resistencia del pavimento.

Prueba de hipótesis específica 5

Ho: La calidad del material granular no influye significativamente en el comportamiento mecánico de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

H: La calidad del material granular influye significativamente en el comportamiento mecánico de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío, Abancay, 2025.

Tabla 34**Contraste de hipótesis específica 5**

	Chi cuadrado	gl	Sig	Pseudo R cuadrado	
Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío. Murillo	6,189	1	,013	Cox y Snell	,461
				Nagelkerke	,654
				McFadden.	,507
Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío. Pedregal	7,719	1	,005	Cox y Snell	,538
				Nagelkerke	,763
				McFadden.	,632

Nota. Datos extraídos de la base de datos

En la tabla N° 34 el contraste de la hipótesis específica 5 sobre la "Calidad del material granular y su influencia en el comportamiento físico de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío", los resultados obtenidos para las canteras Murillo y Pedregal muestran una relación estadísticamente significativa entre la calidad del material granular y las propiedades de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío. Para la cantera Murillo, el valor de Chi cuadrado es de 6.189 con 1 grado de libertad y una significancia de 0.013, lo que sugiere que la calidad del material granular tiene un impacto significativo en estas propiedades de la mezcla. Los valores de Pseudo R cuadrado para Murillo (Cox y Snell 0.461, Nagelkerke 0.654, McFadden 0.507) muestran un ajuste moderado del modelo, explicando un 46.1% de la variabilidad en Cox y Snell, un 65.4% en Nagelkerke y un 50.7% en McFadden, lo que indica que el modelo tiene una capacidad explicativa razonable, aunque hay espacio para mejorar.

Para la cantera Pedregal, el valor de Chi cuadrado es de 7.719 con 1 grado de libertad y una significancia de 0.005, lo que indica una relación también significativa entre la calidad del material granular y el comportamiento físico de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío, similar a los resultados observados para Murillo. Los valores de Pseudo R cuadrado para Pedregal (Cox y Snell 0.538, Nagelkerke 0.763, McFadden 0.632) reflejan un ajuste más

fuerte en comparación con Murillo, con un 53.8% de variabilidad explicada en Cox y Snell, un 76.3% en Nagelkerke y un 63.2% en McFadden. Esto sugiere que el modelo para la cantera Pedregal tiene una mayor capacidad explicativa y que la relación entre la calidad del material granular y las propiedades de flujo y estabilidad es más clara y consistente en este caso.

Sin embargo, ambos modelos (Murillo y Pedregal) muestran que la calidad del material granular influye significativamente en el comportamiento físico de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío. Sin embargo, el modelo para la cantera Pedregal tiene una mayor capacidad explicativa, lo que sugiere una relación más fuerte entre la calidad del material granular y las propiedades de la mezcla asfáltica en frío. Esto podría implicar que el material de Pedregal tiene características más favorables para producir mezclas asfálticas con mejores propiedades de flujo y estabilidad, lo cual es importante para la durabilidad y desempeño de las superficies de pavimento.

Discusión de resultados

La discusión de los resultados de este estudio pone en evidencia la influencia significativa de la calidad del material granular en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas, tal como se plantea en las hipótesis. Los valores de Nagelkerke, que indican la influencia porcentual, muestran una relación positiva y significativa entre la calidad de los agregados y las propiedades de la mezcla asfáltica, lo que resalta la importancia de seleccionar adecuados materiales para la construcción de pavimentos. En la cantera Murillo, el modelo tiene una capacidad explicativa del 65.4% en Nagelkerke, mientras que en la cantera Pedregal el ajuste es incluso mejor, alcanzando un 76.3%. Estos resultados corroboran la idea de que la calidad del material granular impacta directamente las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas, como la absorción, la densidad, el flujo y la estabilidad de la mezcla asfáltica en frío, en línea con los hallazgos de investigaciones previas.

En el estudio de Conde y Palomino (2022), "Incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos", se concluye que la calidad de los agregados incide directamente en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. Este hallazgo es consistente con los resultados obtenidos en este estudio, donde la calidad del material granular de las canteras Murillo y Pedregal tiene un impacto directo en la absorción de la mezcla asfáltica, la densidad y otras propiedades relevantes. En el mismo sentido, Torres y Yacila (2022), en su tesis sobre el "Diseño de mezclas de material granular de tres canteras para optimizar sus propiedades en pavimentos", demuestran que la combinación adecuada de materiales es clave para optimizar las propiedades de las mezclas utilizadas en pavimentos. Los resultados de este estudio refuerzan esta conclusión al observar cómo la selección y combinación de materiales de las canteras Murillo y Pedregal influyen positivamente en la calidad de la mezcla asfáltica.

Además, el análisis comparativo de Gómez y Peña (2020) sobre las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas, elaborado con agregados reciclados, también muestra cómo las propiedades de los agregados afectan las características mecánicas de la mezcla, con una diferencia mínima de 0.1% entre mezclas con agregados reciclados y la mezcla patrón. Esto resalta la importancia de evaluar periódicamente la calidad de los materiales, tal como lo plantea Arellano y Cáceres (2018), quienes en su estudio enfatizan la necesidad de realizar pruebas de granulometría y peso específico para determinar el porcentaje de absorción de los agregados, dado que este factor impacta significativamente en el desempeño de la mezcla asfáltica, tal como se evidenció en los resultados de este estudio.

Finalmente, la definición de Speight (2015) sobre el material granular como una sustancia compuesta por partículas sólidas de forma irregular y su capacidad de compactación y flujo refuerza la idea de que las propiedades físicas del material granular afectan de manera importante la mezcla asfáltica. La capacidad de flujo y la adecuada compactación del material son fundamentales para la consistencia y la durabilidad de las mezclas asfálticas, y los

resultados de este estudio muestran que la calidad de los materiales de las canteras Murillo y Pedregal tiene una influencia directa sobre estos parámetros.

Además, los resultados obtenidos en este estudio confirman que la calidad del material granular incide significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica. Los modelos estadísticos mostraron un ajuste notable y respaldaron la importancia de seleccionar materiales de alta calidad para optimizar el desempeño de las mezclas asfálticas en pavimentos, lo que es coherente con la literatura existente y proporciona una base sólida para futuras investigaciones y mejoras en la práctica del diseño de pavimentos asfálticos.

Este estudio confirma que la calidad del material granular tiene un impacto directo y significativo en las propiedades de las mezclas asfálticas, como la absorción, densidad, flujo y estabilidad. Los valores de Nagelkerke indican que en la cantera Murillo, el 65.4% de la variabilidad de la mezcla se explica por la calidad del material, mientras que en Pedregal esta cifra aumenta a 76.3%. Estos resultados son coherentes con investigaciones previas, como la de Conde y Palomino (2022), quienes afirman que la calidad de los agregados incide directamente en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. La elección adecuada de los materiales es clave para optimizar el comportamiento de la mezcla, lo cual también se refleja en el estudio de Torres y Yacila (2022), que demuestra que una combinación específica de materiales mejora las propiedades de las mezclas asfálticas en pavimentos.

Además, el análisis de Gómez y Peña (2020) muestra que las diferencias entre mezclas con agregados reciclados y las mezclas patrón son mínimas, lo que resalta la importancia de la calidad del material. Arellano y Cáceres (2018) también enfatizan la necesidad de evaluar periódicamente la calidad de los agregados, ya que su absorción impacta en el desempeño de la mezcla asfáltica. Según Speight (2015), los materiales granulares son fundamentales debido a sus propiedades de compactación y capacidad de flujo, que afectan la calidad de las mezclas asfálticas.

VI. Conclusiones

Primera

Después de efectuar la evaluación, los resultados muestran que la calidad del material granular tiene un impacto significativo en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica en frío. Los modelos de regresión explican una parte considerable de la variabilidad, alcanzando un 76.3% en Pedregal y un 65.4% en Murillo, lo que refuerza la relevancia de usar materiales de alta calidad para la construcción de pavimentos.

Segunda

De los resultados se describe que la calidad del material granular en las canteras de Abancay cumple en general con los requisitos para el asfaltado en frío, con un alto porcentaje de muestras clasificadas como buenas en características clave como peso específico, angularidad y granulometría. Sin embargo, se identificaron áreas de mejora, especialmente en los aspectos de abrasión, que requieren más atención.

Tercera

De los resultados se describe que las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en frío cumplen con los estándares exigidos, con un 80% de las muestras clasificadas como buenas en cuanto a absorción, densidad, flujo y estabilidad. Este resultado destaca la idoneidad de los materiales para ser utilizados en la construcción de pavimentos duraderos y de alta calidad.

Cuarta

Se ha determinado que la calidad del material granular influye significativamente en la absorción de la mezcla asfáltica en frío, con valores de Chi cuadrado de 6.189 en Murillo y 7.719 en Pedregal, ambos con una significancia estadística de 0.013 y 0.005, respectivamente. Estos resultados confirman que la absorción se ve afectada por las características del material granular, siendo más pronunciada en la cantera Pedregal.

Quinta

Se ha determinado que la influencia de la calidad del material granular en la densidad de la mezcla asfáltica en frío es significativa en ambas canteras, con valores de Chi cuadrado de 6.189 (Murillo) y 7.719 (Pedregal). Los modelos explican una mayor variabilidad en la cantera Pedregal, con un 76.3% de variabilidad explicada, lo que sugiere una relación más fuerte y consistente entre la calidad del material y la densidad de la mezcla.

Sexta

Se ha determinado que los resultados muestran que la calidad del material granular tiene una influencia significativa en las propiedades de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica en frío, con valores de Chi cuadrado de 6.189 (Murillo) y 7.719 (Pedregal), ambos indicando una relación estadísticamente significativa. El ajuste del modelo es superior en la cantera Pedregal (76.3%), lo que sugiere que los materiales de esta cantera ofrecen mejores características para el flujo y estabilidad de la mezcla.

VII. Recomendaciones

Primera

Realizar un monitoreo continuo de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales granulares utilizados en obras viales. La implementación de técnicas de control de calidad, como ensayos de compresión y abrasión, ayudará a mejorar la durabilidad de la mezcla asfáltica y optimizará la estabilidad del pavimento en el tiempo.

Segunda

Los responsables de las canteras deben realizar ajustes en los procesos de trituración y cribado para mejorar la distribución de tamaños de partículas y garantizar una calidad constante. Además, se debe aumentar el control sobre la variabilidad en los agregados, especialmente en la arena gruesa, para asegurar que el material cumpla con los parámetros establecidos para mezclas asfálticas.

Tercera

Es fundamental que las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas sean evaluadas constantemente mediante ensayos en laboratorio. Esto permitirá ajustar la formulación de la mezcla según las condiciones del proyecto y garantizar que la mezcla asfáltica cumpla con los estándares de durabilidad y resistencia, especialmente en zonas de alto tráfico.

Cuarta

Mejorar el control de la calidad del material granular, especialmente en lo que respecta a la absorción del agregado. El uso de agregados con menor capacidad de absorción reducirá el riesgo de inestabilidad en la mezcla asfáltica, lo cual es esencial para mantener la cohesión y la durabilidad del pavimento.

Quinta

Asegurar que los materiales utilizados tengan una densidad adecuada es importante para la compactación de la mezcla asfáltica. Se recomienda realizar ensayos regulares de densidad y ajustar las proporciones de los materiales en función de los resultados obtenidos para optimizar la compactación y la resistencia a largo plazo de la capa asfáltica.

Sexta

Para garantizar la estabilidad de la mezcla asfáltica, se debe prestar especial atención a la calidad del material granular, ajustando su distribución y propiedades mecánicas. Se recomienda reforzar las pruebas de flujo y estabilidad de la mezcla, considerando la implementación de mejoras en el proceso de selección y tratamiento de los agregados, lo que contribuirá a una mayor durabilidad del pavimento.

VIII. Referencias

- Aragão, F. T. S., Pazos, A. R. G., Motta, L. M. G. da, Kim, Y.-R., & Nascimento, L. A. H. do. (2016). Effects of morphological characteristics of aggregate particles on the mechanical behavior of bituminous paving mixtures. *Construction and Building Materials*, 123, 444-453.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.013>
- Arellano Loayza, L. L., & Caceres Candia, C. S. (2018). *Importancia de la evaluación a las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente a más de 3000 msnm para el proyecto carretera desvío Imperial-Pampas* [Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/623822>
- Aroca Moscote, J. M. (2019). *Influence of the surface roughness of aggregates on the adhesion quality of asphalt-aggregate systems* [Master of Science, Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/43977>
- Asphalt Institute. (1997). *Asphalt Cold Mix Manual* (3rd ed.). Asphalt Institute.
- Cala, A., & Caro, S. (2022). Predictive quantitative model for assessing the asphalt-aggregate adhesion quality based on aggregate chemistry. *Road Materials and Pavement Design*, 23(7), 1523-1543.
<https://doi.org/10.1080/14680629.2021.1900896>
- Cala, A., Caro, S., Lleras, M., & Rojas-Agramonte, Y. (2019). Impact of the chemical composition of aggregates on the adhesion quality and durability of asphalt-aggregate systems. *Construction and Building Materials*, 216, 661-672.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.030>
- ComexPerú. (2020). *Infraestructura Vial: Gobiernos Subnacionales Estancados*. COMEXPERU - Sociedad de Comercio Exterior del Perú.

<https://www.comexperu.org.pe/articulo/infraestructura-vial-gobiernos-subnacionales-estancados>

Conde Taco, C. S., & Palomino Ramirez, R. V. (2022). *Incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos* [Pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5800>

Cuellar Minauro, K. A., & Bejar Jerí, H. E. (2019). *Características de los agregados provenientes de las canteras ubicadas en la cuenca del rio Vilcabamba y su uso en la construcción de obras de concreto en la ciudad de Chuquibambilla – Grau – Apurímac 2018* [Pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/208>

Cui, P., Xiao, Y., Yan, B., Li, M., & Wu, S. (2018). Morphological characteristics of aggregates and their influence on the performance of asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 186, 303-312. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.124>

Dong, Q., Chen, X., Gao, Y., Hu, J., Chen, X., & Xu, G. (Eds.). (2023). *Civil Engineering Materials for Transportation Infrastructure*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-1300-8>

Ferrel Sinte, E., & Moreano Huacana, E. (2019). *Evaluación de la calidad de los agregados provenientes de las canteras en el sector de Pachachaca—Abancay y su influencia en la resistencia del concreto empleado en obras civiles de Abancay-Apurímac, 2018* [Pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/236>

Forero Bernal, J. A., García Medina, J. P., & Martínez Torres, M. J. (2015). *Propiedades físicas, reológicas y mecánicas de un cemento asfáltico 80/100*

- modificado por vía húmeda con adición de corcho* [Pregrado, Universidad La Gran Colombia]. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/4421>
- Garcia, V. M., Barros, L., Garibay, J., Abdallah, I., & Nazarian, S. (2020). Effect of Aggregate Gradation on Performance of Asphalt Concrete Mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(5), 04020102. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003147](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003147)
- Gomez Elorrieta, J. C., & Gomez Peña, J. A. (2020). *Análisis comparativo de las propiedades físico –mecánicas de una mezcla asfáltica en frío, elaborado con agregados reciclados y emulsión asfáltica de rotura lenta, en referencia a una mezcla patrón, Cusco 2019* [Pregrado, Universidad Andina del Cusco]. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20500.12557/3609>
- Hassan, H. M. Z., Wu, K., Huang, W., Chen, S., Zhang, Q., Xie, J., & Cai, X. (2021). Study on the influence of aggregate strength and shape on the performance of asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 294, 123599. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123599>
- Islam, R., & Tarefder, R. A. (Eds.). (2020). *Pavement Design: Materials, Analysis, and Highways* (1st Edition). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260458916>
- Kusumawardani, D. M., & Wong, Y. D. (2020a). Evaluation of aggregate gradation on aggregate packing in porous asphalt mixture (PAM) by 3D numerical modelling and laboratory measurements. *Construction and Building Materials*, 246, 118414. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118414>
- Kusumawardani, D. M., & Wong, Y. D. (2020b). The influence of aggregate shape properties on aggregate packing in porous asphalt mixture (PAM). *Construction*

- and Building Materials*, 255, 119379.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119379>
- Li, W., Wang, D., Chen, B., Hua, K., Su, W., Xiong, C., & Zhang, X. (2022). Research on Three-Dimensional Morphological Characteristics Evaluation Method and Processing Quality of Coarse Aggregate. *Buildings*, 12(3), Article 3.
<https://doi.org/10.3390/buildings12030293>
- Mamlouk, M., & Zaniewski, J. (2016). *Materials for Civil and Construction Engineers* (4th ed.). Pearson Education.
- Menéndez Acurio, J. R. (2016). *Ingeniería de Pavimentos. Tomo1: Materiales* (5 Ed). Fondo Editorial ICG.
https://tienda.construccion.org/producto/ingenieria_de_pavimentos_materiales_5ta
- MTC. (2013). *MANUAL DE CARRETERAS. Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción (EG-2013)*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC. (2018). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. Red Vial Existente del Sistema Nacional de Carreteras, según Departamento: 2010-2018.
<https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/transportes.html>
- Neri Villasis, L. M. (2018). *Calidad del material de base y subbase para vías pavimentadas, en tres canteras de la provincia de Trujillo, 2018* [Pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20500.12692/32024>
- Nicole, L. S., Ng, C. M., Sori, N. S. N. B. M., Jaya, R. P., & Masri, K. A. (2023). Influence of Aggregates Shape on Porous Asphalt Mixture. *CONSTRUCTION*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.15282/construction.v3i1.8813>

- Olarte Buleje, Z. (2017). *Estudio de la calidad de los agregados de las principales canteras de la ciudad de Andahuaylas y su influencia en la resistencia del concreto empleado en la construcción de obras civiles* [Pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/100>
- Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2008). *Pavement Design and Materials*.
- Qian, Z., Ren, H., & Wei, Y. (2021). Effect of Aggregate Gradation and Morphology on Porous Asphalt Mixture Performance. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(5), 04021055. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003655](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003655)
- Ríos Chávez, M. S., & Boza Carbonelli, D. K. (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* [Pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/380>
- Roldan Juárez, A. (2022). *Determinación de las propiedades geomecánicas del agregado de la cuenca de Pachachaca y su incidencia en la resistencia a la compresión y flexión en concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento portland tipo I en el distrito de Abancay- 2019* [Pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1121>
- Sims, I., Lay, J., & Ferrari, J. (2019). 15—Concrete Aggregates. En P. C. Hewlett & M. Liska (Eds.), *Lea's Chemistry of Cement and Concrete (Fifth Edition)* (pp. 699-778). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100773-0.00015-0>
- Song, H., Do, J., & Soh, Y. (2006). Feasibility study of asphalt-modified mortars using asphalt emulsion. *Construction and Building Materials*, 20(5), 332-337. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.027>

- Speight, J. G. (2015). *Asphalt Materials Science and Technology*. Butterworth-Heinemann.
- Swiertz, D., Johannes, P., Tashman, L., & Bahia, H. (2012). Evaluation of Laboratory Coating and Compaction Procedures for Cold Mix Asphalt. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 81(81), 81-107. <https://trid.trb.org/view/1305700>
- Thanaya, I. N. A., Zoorob, S. E., & Forth, J. P. (2009). A laboratory study on cold-mix, cold-lay emulsion mixtures. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 162(1), 47-55. <https://doi.org/10.1680/tran.2009.162.1.47>
- Torres Manrique, F. J., & Yacila Gonzales, M. N. (2022). *Diseño de mezclas de material granular de tres canteras para optimizar sus propiedades en pavimentos, Nuevo Chimbote 2020* [Pregrado, Universidad Nacional del Santa]. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3948>
- Valdes-Vidal, G., Calabi-Floody, A., Sanchez-Alonso, E., & Miró, R. (2019). Effect of aggregate type on the fatigue durability of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 224, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.064>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes