



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Conde Taco, Cristhian Smith
ORCID: 0000-0002-0728-0637

Palomino Ramirez, Robert Virgilio
ORCID: 0000-0003-0143-4962

ASESOR

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio
ORCID: 0000-0002-2518-8201

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Conde Taco, Cristhian Smith

DNI: 75799413

Palomino Ramirez, Robert Virgilio

DNI: 73034537

Datos de asesor

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio

DNI: 04434662

Datos del jurado

JURADO 1

Támara Rodríguez, Joaquín Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

JURADO 2

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

ORCID: 0000-0002-7722-8711

JURADO 3

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a mis familiares por formarme con buenos valores y sentimientos para afrontar cada situación difícil en la vida y que me ha ayudado a salir de situaciones difíciles en la vida.

A mi pareja que siempre me apoyo de todas las maneras a pesar de las circunstancias.

A mi abuela Bertha León y mi profesor Jesús Pérez Nieto que se encuentran en el cielo, que siempre me impulsaron a seguir adelante.

Conde Taco, Cristhian Smith

Dedico esta tesis a mi familia, quienes me han permitido llegar a este momento tan importante en mi formación profesional.

Palomino Ramirez, Robert Virgilio

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por brindarme el conocimiento para esta investigación, a mis padres por su apoyo incondicional, a mis familiares que siempre me alentaron y a mi pareja que siempre estuvo conmigo a todo momento y que estas personas me impulsan a seguir adelante y seguir mejorando cada día.

Conde Taco, Cristhian Smith

Agradezco a mi padre, por haberme influenciado desde muy pequeño en el mundo de la construcción, despertando en mí el gran interés en la ingeniería civil.

Palomino Ramirez, Robert Virgilio.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos	1
1.2 Objetivo general y específicos	4
1.3 Delimitación de la investigación	4
1.3.1 Delimitación temporal	4
1.3.2 Delimitación espacial	4
1.3.3 Delimitación temática	4
1.4 Importancia y justificación	5
1.4.1 Importancia	5
1.4.2 Justificación del estudio	5
1.4.3 Justificación social	5
1.4.4 Justificación económica	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes del estudio de la investigación	7
2.1.1 Antecedentes nacionales	7
2.1.2 Antecedentes internacionales	9
2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio	12
2.2.1 Pavimentos	12
2.2.2 Mezclas asfálticas	14
2.2.3 Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	20
2.2.4 Agregados	26
2.2.5 Ensayos de laboratorio	43
2.3 Definición de términos básicos	53
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	55
3.1 Hipótesis	55
3.1.1 Hipótesis general	55
3.1.2 Hipótesis específicas	55

3.2 Variables	55
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	58
4.1 Tipo de la investigación	58
4.2 Nivel de la investigación	58
4.3 Diseño de la investigación	58
4.4 Población y muestra	58
4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	58
4.5.1 Tipos de técnicas e instrumentos	59
4.5.2 Procedimientos para la recolección de datos	59
4.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	59
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
5.1 Presentación de resultados	60
5.1.1 Calidad de los agregados.	62
5.1.2 Peso específico y absorción de los agregados	62
5.1.3 Angularidad y textura	65
5.1.4 Granulometría	69
5.2 Análisis de resultados	80
5.3 Contrastación de hipótesis	92
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXOS	107
Anexo 1: Matriz de Consistencia	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Tipos de Mezclas asfálticas en caliente	15
Tabla N° 2 Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento	20
Tabla N° 3 Causas y efectos de un poco durabilidad	21
Tabla N° 4 Causas y efectos de la permeabilidad	22
Tabla N° 5 Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad	23
Tabla N° 6 Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga	25
Tabla N° 7 Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento	26
Tabla N° 8 Operacionalización de variables	56
Tabla N° 9 Recopilación de investigaciones nacionales	60
Tabla N° 10 Recopilación de investigaciones internacionales	61
Tabla N° 11 Porcentajes de agregados y asfaltos	64
Tabla N° 12 Porcentaje de vacíos de aire en la Mina Pintag y Guayllabamba	65
Tabla N° 13 Porcentaje de VAM en la Mina Pintag y Guayllamba	65
Tabla N° 14 Valores de Porcentaje Óptimo de Asfalto	70
Tabla N° 15 Resultados del ensayo de Flujo y estabilidad Marshall	70
Tabla N° 16 Valores de contenido de asfalto y VMA según tesis Nacionales	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Estado de la Red Vial Nacional al 2021	2
Figura N° 2: Estructura de un pavimento flexible	13
Figura N° 3: Curva granulométrica de mezclas densas	16
Figura N° 4: Curva granulométrica de mezclas abiertas	17
Figura N° 5: Curva granulométrica de mezclas incompletas	18
Figura N° 6: Requerimientos para los agregados gruesos	26
Figura N° 7: Requerimientos para los agregados finos	27
Figura N° 8: Tipos principales de rocas para la construcción de carreteras	30
Figura N° 9: Propiedades de los componentes de los suelos	30
Figura N° 10: Ejemplo de diferentes gradaciones de agregados	34
Figura N° 11: Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)	35
Figura N° 12: Composición Típica del Concreto Asfáltico, ASTM D-3515	35
Figura N° 13: Composición Típica del Concreto Asfáltico, ASTM D-3515	36
Figura N° 14: Partícula de agregado	37
Figura N° 15: Esquema de forma, angularidad y textura.	39
Figura N° 16: Forma de las partículas de los materiales granulares	41
Figura N° 17: Ensayos para agregados en pavimentos	43
Figura N° 18: Precisión para resultados del ensayo MTC E 205	46
Figura N° 19: Peso mínimo de la muestra de ensayo	47
Figura N° 20: Propiedades deseables de rocas para agregados utilizados MAC	51
Figura N° 21: Especificaciones de los agregados según INVIAS 2013	63
Figura N° 22: Flujo de probetas ensayadas	68
Figura N° 23: Estabilidad probetas ensayadas	68
Figura N° 24: Resultados de las propiedades de los agregados para carpeta asfáltica	71
Figura N° 25: Franja granulométrica INVIAS y esqueleto mineral	72
Figura N° 26: Esqueleto mineral óptimo con franja granulométrica	72
Figura N° 27: Graficas granulométricas propuestas	73
Figura N° 28: Relación %absorción y óptimo contenido de asfalto	75
Figura N° 29: Ensayo Lotman para mezcla asfáltica con y sin aditivo	76
Figura N° 30: Curva granulométrica y Huso ASTM D 3515	78
Figura N° 31: Briquetas sometidas a ensayo de la Rueda de Hamburgo	80
Figura N° 32: Peso específico encontrados según fuentes nacionales	83

Figura N° 33: Absorción encontrados según fuentes nacionales	83
Figura N° 34: VMA vs Óptimo contenido de asfalto	85
Figura N° 35: Absorción AF Vs Óptimo contenido de asfalto	85
Figura N° 36: Absorción AG vs Óptimo contenido de asfalto	86
Figura N° 37: Reemplazo de agregados redondeados y ensayo de estabilidad y flujo	88
Figura N° 38: Estabilidad VS vacíos netos	89
Figura N° 39: Husos granulométricos encontrados de fuentes Nacionales	90
Figura N° 40: Curvas granulométricas para diseño mezclas asfálticas encontradas	90

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, las cuales son durabilidad, trabajabilidad, estabilidad, impermeabilidad, flexibilidad, resistencia al deslizamiento y resistencia a la fatiga, que vienen a ser las propiedades estudiadas en esta investigación. Planteando este objetivo por medio de la evaluación de distintas investigaciones nacionales e internacionales referidas desde el punto del peso específico, absorción, angularidad, textura y granulometría.

La metodología de estudio fue inductiva llevándonos a obtener conclusiones generales a partir del análisis de toda la fuente bibliográfica utilizada.

Según los resultados se comprobó que todas las hipótesis planteadas son acertadas. El peso específico y absorción incide en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga, ya que estas afectan en gran medida la relación de los agregados y la película que se forma alrededor de estos. La angularidad y textura incide en estabilidad y flexibilidad, debido a que las partículas angulosas y lisas se complementan llenando el porcentaje de vacíos. La granulometría incide en la durabilidad trabajabilidad y resistencia al deslizamiento, debido a los diferentes porcentajes de agregados finos y gruesos hacen variar el contenido óptimo de asfalto en el diseño, así como la textura de la capa de rodadura incidiendo en las propiedades antes mencionadas. Por lo que se concluye que la calidad de los agregados incide de manera directamente proporcional según lo establecido en las hipótesis.

Palabras Clave: Granulometría, mezcla asfáltica, método Marshall, agregados, curva granulométrica, óptimo contenido de asfalto.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the incidence of the quality of the aggregates in the mechanical properties of the asphalt mixtures, which are durability, workability, stability, impermeability, flexibility, slip resistance and fatigue resistance, which come to be properties studied in this research. Raising this objective through the evaluation of different national and international investigations referred from the point of specific weight, absorption, angularity, texture and granulometry.

The study methodology was inductive, leading us to obtain general conclusions from the analysis of all the bibliographic sources used.

According to the results, it was found that all the hypotheses proposed are correct. The specific weight and absorption affect the impermeability and resistance to fatigue, since these greatly affect the ratio of the aggregates and the film that forms around them. The angularity and texture affect stability and flexibility, because the angular and smooth particles complement each other, filling the percentage of voids. The granulometry affects the durability, workability and slip resistance, due to the different percentages of fine and coarse aggregates, they vary the optimum content of asphalt in the design as well as the texture of the wearing course, affecting the aforementioned properties. Therefore, it is concluded that the quality of the aggregates affects in a directly proportional way as established in the hypotheses.

Key Words: Granulometry, asphalt mix, Marshall method, aggregates, granulometric curve, optimum asphalt content.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como propósito 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 como tesis y artículos tanto nacionales como internacionales las cuales estudian, analizan y evalúan aspectos determinantes en las mezclas asfálticas como lo son las propiedades mecánicas, estudio de canteras, caracterización de agregados, entre otros. Para el uso de estas fuentes bibliográficas se tuvo en cuenta que emplearán el Método Marshall para mezclas asfálticas en caliente (MAC) y también el estudio de una mezcla asfáltica en caliente convencional, puesto que, aunque existan diferentes estudios que demuestren que las mezclas asfálticas modificadas mejoran ciertas características de las mezclas asfálticas, las mezclas asfálticas convencionales siguen siendo las más utilizadas en la construcción de pavimentos flexibles en el Perú. Se presenta a continuación la estructura de esta tesis la cual contiene los siguientes capítulos:

En el capítulo I se explica la problemática actual de los pavimentos flexibles en el país, debido al aun centralismo existente, a la topografía, y falta de vías de acceso.

En el capítulo II se detalla la información recopilada que sustenta el marco teórico de esta investigación, como libros, normativa, manuales, así como antecedentes, también se mencionan propiedades y ensayos que se realizan a los agregados pétreos como gravas y arenas según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como los ensayos para determinar las propiedades mecánicas en las mezclas asfálticas.

En el capítulo III se desarrolla el sistema de hipótesis principal y secundarias.

En el capítulo IV se explica la metodología de la investigación, cuyo diseño es no experimental - transversal y retrospectiva debido a la recolección de información de tesis y artículos.

En el capítulo V se presenta y analiza los resultados, en la cual se detallan las conclusiones y aspectos más importantes de cada tesis y artículos relacionándolo con cada propiedad mecánica de las mezclas asfáltica, así como valores de peso específicos, absorciones, características sobre la angularidad y texturas de los agregados empleados, así como el huso granulométrico utilizado para el diseño final de las mezclas asfálticas en caliente.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

El Perú al ser un país centralizado, en el cual la política estatal y la economía se encuentra focalizado en la capital y en las principales ciudades, se puede presenciar un abandono en su infraestructura vial y la falta de conexiones entre las zonas rurales y urbanas, ya sea por su geografía o su topografía, dificultando así la elaboración de carreteras, al igual que su mantenimiento, lo cual se puede ver reflejado con la escasa presencia de transportes y sus altos precios. Debido a la dificultad de la elaboración de carreteras y su mantenimiento, estas tendrán que ser manufacturadas de tal manera que obtengan una buena calidad para reflejar un mejor rendimiento, así como su tiempo de vida útil.

Por lo que, al ser un país en vías de desarrollo y comprendiendo que una infraestructura vial es una base fundamental para obtener un crecimiento descentralizado, ya sea en lo económico, social y cultural entre las ciudades que se encontrarán conectadas por estas vías, por lo que es necesario el conocer y poseer un conveniente sistema de carreteras. Debido a que será un elemento esencial el desarrollar una mezcla asfáltica de calidad para las carreteras del país y para lo cual determinar la incidencia de la calidad de los agregados será un elemento esencial para poder lograr dicho objetivo.

Las mezclas asfálticas es un material que conlleva muchos años siendo utilizado en la elaboración de la construcción vial, a lo cual, con el pasar del tiempo va perfeccionando su diseño para obtener mejores resultados y tiempo de vida para sus consumidores y mantener por muchos años las conexiones de la infraestructura vial. Por este motivo, se valora y considera sustancial la investigación de este material en su fabricación mediante, la elaboración del presente trabajo de titulación “Incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos”.

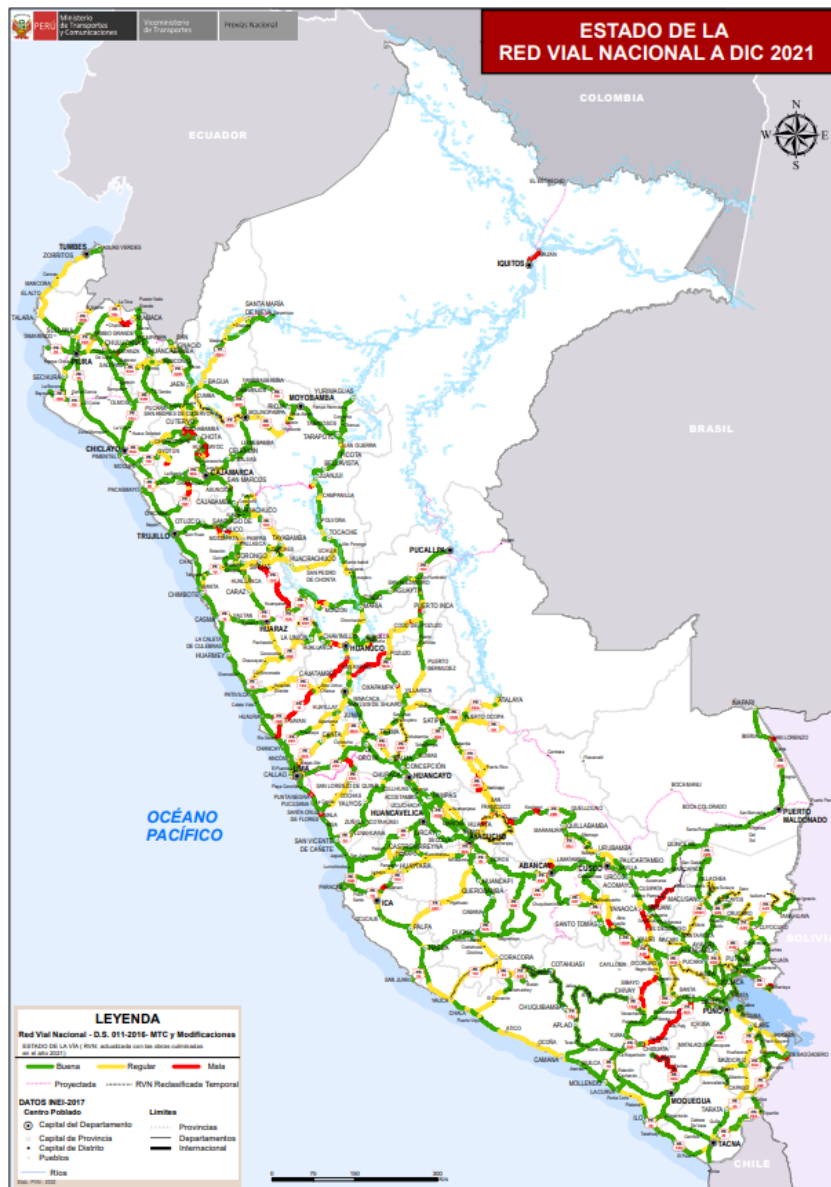


Figura N° 1: Estado de la Red Vial Nacional al 2021
 Fuente: Provias Nacional (2021)

Los componentes principales en las fábricas asfálticas, además del reglamento de emisiones y un control de retorno de finos, vienen a ser la comprobación de alimentación de asfalto y de agregados y con el factor de la temperatura. En especial el asfalto en caliente tiene que tener un regulado y calculado de acuerdo a sus especificaciones para una obra adecuada (Guía de Buenas Prácticas para el Control de Calidad de Mezclas Asfálticas y Aplicaciones Bituminosas, cap. 4 pág. 90-91). En la actualidad la conexión entre ciudades se realiza a través de la infraestructura vial es un factor importante ya que esto apoya al progreso comunitario y su aumento debido a que ayuda a comunicar las ciudades, pueblos y comunidades con sus ciudades principales y finalmente estas con la capital teniendo

así un mejor flujo de embarque alimentos y artefactos en general, mejorando así la calidad de las personas y su crecimiento económico.

Debido a estos factores se busca que las vías que unen al país sean duraderas y de calidad. Por su extenso tiempo de vida son escogidos de preferencia las mezclas asfálticas en caliente pero siempre se cumplirá su extensa vida cuando su producción sea debidamente construida de acuerdo a sus parámetros, en la cual una de las más importantes es la calidad de los agregados con la cual es elaborada la mezcla asfáltica, así como el mantenimiento de las vías para garantizar sus tiempos de vida y asimismo con el mantenimiento reducir el riesgo de accidente de los vehículos de transporte de personas y cargas que pasan día a día por estas carreteras y que generan un deterioro en el pavimento haciendo un mayor índole en las carreteras de alto volumen que conectan al país. De este modo, la calidad de los agregados, la calidad del asfalto y también la mezcla asfáltica que es una combinación de agregados y asfalto por lo cual la combinación de estos dos productos juegan un papel importante y necesario de determinar con una mejor escrupulosidad la incidencia de la calidad de los agregados en la estabilidad, durabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al deslizamiento ,trabajabilidad e impermeabilidad , al mismo tiempo que el buscar mejorar estas mediciones para tener un pavimento que cumpla toda su vida útil de forma eficiente.

Problema general:

¿En qué medida la calidad de los agregados, incide en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en pavimentos?

Problemas específicos:

- a) ¿De qué manera el peso específico y la absorción de los agregados inciden en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas?
- b) ¿De qué manera incide la angularidad y textura de los agregados en la estabilidad y flexibilidad de las mezclas asfálticas?
- c) ¿De qué manera incide la granulometría de los agregados en la durabilidad, trabajabilidad, y resistencia al deslizamiento de las mezclas asfálticas?

1.2 Objetivo general y específicos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la incidencia del peso específico y la absorción en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas.
- b) Determinar cómo incide la angularidad y textura de los agregados en la estabilidad y flexibilidad de las mezclas asfálticas.
- c) Determinar la incidencia de la granulometría de los agregados en la durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento de las mezclas asfálticas.

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación temporal

La delimitación se relaciona con la obtención de datos de ensayos de materiales para agregados de mezclas asfálticas para pavimentos obtenidos de tesis, guías, artículos y expedientes, más recientes, para obtener características acerca de la granulometría, peso específico, absorción, geometría y textura.

1.3.2 Delimitación espacial

La presente investigación toma en consideración el territorio peruano principalmente las regiones de la costa y la sierra ya que en la selva baja no existen agregados; predominando las arenas que se prestan para la preparación de morteros asfálticos. Nuestro tema está referido a concreto asfáltico y los agregados predominan en la costa, sierra y selva alta.

1.3.3 Delimitación temática

La presente investigación estudiará la incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente para pavimentos. No se tomará en cuenta las mezclas asfálticas en frío. Asimismo, solo se estudiará aquellas mezclas asfálticas diseñadas con el método Marshall.

1.4 Importancia y justificación

1.4.1 Importancia

Esta investigación es importante debido a que dará a conocer un nuevo parámetro sobre el parámetro de influencia de la calidad de los agregados al momento de desarrollar mezclas asfálticas y las propiedades mecánicas que estas conllevan se verán afectadas por la calidad de los agregados. Lo cual este parámetro al saber su incidencia en las propiedades mecánicas de las mezclas se verá reflejado en la calidad de los pavimentos que serán manufacturados dándole así un mayor tiempo de vida útil, utilidad y rentabilidad al momento de realizar los mantenimientos.

Para lo cual, este presente trabajo de investigación se utilizará de referencia para los estudios de investigación venideros y una mejor elaboración de las mezclas asfálticas para pavimentos.

1.4.2 Justificación del estudio

La justificación del estudio se basa en el estudio de la calidad de los agregados según fuentes nacionales e internacionales, y determinar su influencia en las propiedades mecánicas, puesto que mientras se garantiza la calidad de los agregados mediante los ensayos respectivos, las carreteras podrán garantizar, seguridad y confort a los usuarios. Puesto que, al cumplir adecuadamente con las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, estas evitarán los problemas más comunes como el ahuellamiento, hidropilaneamiento, exudación, entre otros. Por lo que la determinación de la calidad de los agregados es fundamental para que las mezclas asfálticas para pavimentos logren su objetivo.

1.4.3 Justificación social

Esta investigación se justifica a nivel social porque busca determinar el grado de incidencia que tiene la calidad de los agregados minerales en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos, y que de esta manera se pueda ampliar la información existente para la adecuada selección los materiales, previniendo fallas o deterioros prematuros en la carpeta de rodadura.

1.4.4 Justificación económica

La justificación económica de la investigación se sustenta en que un adecuado empleo de agregados que cumplen con la calidad de los agregados según las normas vigentes, garantizaran pavimentos flexibles de calidad que permitan su continua transitabilidad, puesto que estas carreteras llevan consigo el desarrollo económico y social de los lugares a los que se conectan.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de la investigación

2.1.1 Antecedentes nacionales

Arellano, L. L. & Cáceres, C. S. (2018) en su tesis titulada “Importancia de la evaluación a las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente a más de 300 msnm, para ello usaron de muestra la carretera Desvío Imperial – Pampas en el distrito de Tayacaja en el departamento de Huancavelica”. Para el diseño teórico de la mezcla asfáltica en caliente realizaron la selección óptima de la combinación de los agregados, contenido de vacíos y calidad del ligante asfáltico, según las exigencias del proyecto. El control de calidad fue realizado teniendo como referencia las especificaciones técnicas del proyecto basadas en las normativas de Especificaciones Generales para la construcción EG-2013 y Ensayo de materiales EM-2016. Realizando los ensayos respectivos y comparándolos con los ensayos realizados en el laboratorio de obra concluyeron que, para fuentes de origen coluvial existe la posibilidad que estos sufran variaciones en sus características, que posteriormente repercute en el diseño teórico de la mezcla asfáltica, por ello es elemental que se debe de realizar el control de calidad periódico del agregado, tales como granulometría, equivalente de arena, y principalmente el ensayo de peso específico para verificar el porcentaje de absorción de los agregados que tenga mayor incidencia en la mezcla asfáltica.

Reyes, G. (2020) en su tesis titulada “Comportamiento Físico-Mecánico de las mezclas asfálticas en caliente en el distrito de Mazamari, provincia de Satipo”, realizó evaluaciones del comportamiento físico mecánico de las mezclas asfálticas para combinaciones granulométricas de piedra chancada menor a 3/4” en 26%, arena chancada menor a un 3/8”, arena chancada zarandeada menor a 3/8” en 32% para un cemento asfáltico PEN 60/70 en una dosificación óptima de 5.8% y la aplicación de aditivo RICTOZ, obteniendo mejoras en sus propiedades físicas mecánicas de cómo su peso específico Bulk de 2.368 kg/cm³, porcentaje vacíos de la mezcla asfáltica de 4.3%, vacíos en el agregados mineral de 17.5% vacíos llenos con cemento asfáltico de 75.7%. Asimismo, concluye que la estabilidad está en relación al flujo y

que está directamente relacionada a la dosificación de PEN 60/70 y por ende a las propiedades físico mecánico de la mezcla asfáltica como la resistencia, dureza y durabilidad.

Ramos, U. (2014) en su tesis de pregrado “Influencia del tamaño máximo del agregado grueso de la cantera Condorire en el diseño de mezclas asfálticas en caliente para la carretera Puno – Tiquillaca”, se propuso diseñar una mezcla asfáltica en caliente con la variación del tamaño máximo del agregado grueso, de manera tal que se consiga economizar y optimizar la funcionalidad de la carpeta de rodadura. Esta tesis analiza la elección del tamaño de agregado grueso, el porcentaje óptimo de asfalto y un adecuado diseño de mezcla asfáltica, planteando un diseño que brindará durabilidad, permeabilidad y resistencia a las cargas de tráfico y a la climatología propia de la zona. En sus conclusiones manifiesta que se puede afirmar que el tamaño máximo de los agregados pétreos sí influyen en el diseño de mezclas asfálticas, asimismo mediante el ensayo Marshall determinaron que la estabilidad y la fluencia dependen del tamaño máximo de agregado grueso con respecto a la deformación de la briqueta, finalmente la variación del porcentaje de vacíos y de densidad de la mezcla asfáltica en caliente varía según el tamaño máximo de agregado grueso.

Castro, F. (2012) en su tesis titulada “Condiciones para el uso del agregado global para mezclas asfálticas”, esta investigación está basada en aplicación del agregado global y módulo de finura, cuya importancia se manifiesta en el incremento de la productividad global de los agregados, reducir costos y mantener la calidad en la mezcla asfáltica. Asimismo, estudió las características de los agregados, luego se procedió a la aplicación del agregado global y módulo de finura, con lo cual se obtendrá el agregado que se utilizará en el diseño de la mezcla asfáltica. En sus conclusiones manifiesta que, para emplear los agregados de la cantera, primero se realizará los ensayos de calidad de los agregados que tienen que cumplir con la norma de mezcla asfáltica EG-2000 del MTC, también que la optimización de los porcentajes hallados por el método de agregado global y módulo de finura, se obtiene cuando se toma una curva óptima, promedio entre los límites del huso a utilizar. Asimismo, se obtiene ahorro de tiempo al utilizar el método del

agregado global y módulo de finura para hallar las proporciones de agregados para la mezcla asfáltica.

Reynoso, W., y Zelaya, N. J. (2014) en su tesis titulada “Estudio de los agregados de la cantera de Cangari para la elaboración de la mezcla asfáltica para pavimentos flexibles en la provincia de Huanta -Ayacucho”. Tiene como objetivo evaluar y analizar la calidad de los agregados de la cantera Cangari para la elaboración de la mezcla asfáltica asimismo busca determinar el porcentaje de caras fracturadas del agregado de la cantera en mención para la elaboración de la mezcla asfáltica. En sus conclusiones manifiesta “Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento portland para el proyecto de conservación vial Puno Tacna Tramo: Tarata – Capazo – Mazocruz”, indicó que del análisis comparativo técnico-económico entre las soluciones propuestas se tiene que el diseño que contempla el suelo estabilizado con emulsión asfáltica es la propuesta más viable. El uso de emulsiones asfálticas dota de mejores propiedades al suelo tratado, sin embargo, este eleva su costo considerablemente. Así mismo, la aplicación de cemento portland o emulsión asfáltica en dosificaciones menores a 1% no altera las propiedades mecánicas y físicas del suelo.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Acevedo, N. (2021) en la investigación titulada “Influencia de la forma de los agregados en la estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica empleando el equipo Marshall”. En esta tesis se realiza una exploración con la finalidad de determinar la influencia la geometría del agregado en su estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en la cual se realizó un testeó con 25 probetas cilíndricas con el método Marshall , considerando en la base una mezcla gruesa en caliente con tamaño máximo de 38mm que es considerada según el MGC-38 para bacheos o bases y se suplantó los agregados de la repartición , por esferas de vidrio siendo los designados los de 25mm, 22mm, 16mm, 11mm y 2.5mm dando con el equipo Marshall la estabilidad y flujo. Teniendo como conclusión que la estabilidad y flujo menguan en proporción que las partículas redondeadas aumentan, al tener mayor cantidad de vacíos los ensayos resultan con una resistencia a la fatiga menos y más rígidas, así como también su estabilidad y resistencia.

Benavides, M. A. (2016) en su tesis de licenciatura “Efecto de la variación de la relación polvo / asfalto sobre la durabilidad de mezclas asfálticas”, investiga la conducta reológica, impermeabilidad y durabilidad en una mezcla asfáltica a través de su proporción polvo mineral/asfalto a lo cual se tasará el rendimiento de las mezclas teniendo una fluctuación al parámetro superior en la proporción polvo/asfalto teniendo como justificación el mejorar sus parámetros para obtener una mejor eficiencia y así el Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica (MOPT). Se ejerció una mezcla con la granulometría principal del diseño de mezcla Marshall con una proporción polvo/asfalto operativo = 1.7, donde fueron sometidos a pruebas de tensión diametral conservada a 24 horas. También se realizaron de proporciones polvo/asfalto efectivo 1.0 y 1.3 para poder cotejar su desempeño y si el indicador es de importancia en torno a la imprecisión del reglamento. Como conclusión la proporción mencionada no se demuestra que el parámetro polvo/asfalto sea considerado un método de admisión en las mezclas asfálticas.

Delgado, H., Garnica, P., Villatoro, G., y Rodríguez, G. (2006) en su trabajo de investigación titulado “Influencia de la granulometría en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica” se exhibe un estudio de incidencia, mediante el RAMCODE, en el rendimiento en mezcla asfáltica delimitado a una zona restringida donde se examinarán las propiedades volumétricas debido a la aparición de Superpave en los reglamentos para un diseño de mezcla. Tiene como objetivo analizar la incidencia de la granulometría en el resultado de rendimiento en una mezcla asfáltica tomando como apoyo la alusión de Superpave. Como conclusión la granulometría obtiene y demuestran un mayor rendimiento a pesar de que esta traspasa la zona restringida y es sensato el permitir un nuevo parámetro en las especificaciones tanto superior como inferior, para no obtener una mezcla con un rendimiento no admisible ya sea por tener una mezcla muy fina o gruesa.

Cortez, J., Guzmán, H. y Reyes, A, (2007). En su tesis de grado titulado “Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente”, tiene como objetivos, recopilar los conceptos fundamentales y nociones generales que conciernen al diseño de mezclas

asfálticas en caliente, así como llevar a cabo la revisión y actualización de los procedimientos implicados en los ensayos que verifican la calidad de los materiales involucrados en el diseño de una mezcla asfáltica en caliente, así como el equipo correspondiente a cada práctica. Para tal fin recopila información teórica relacionada a los agregados, así como especificaciones para su manejo y acopio en planta, control de calidad de los materiales pétreos y los ensayos que básicamente se les realizan a los agregados (según AASHTO). El trabajo también hace mención a las características y propiedades más importantes del asfalto, su composición y como todos estos parámetros influyen en las propiedades de la mezcla. Llegando a la conclusión de que el procedimiento con el cual un agregado es almacenado o apilado influirá en gran manera en la variación de sus propiedades volumétricas y específicamente en el ensayo granulométrico debido a la segregación que se presenta de partículas grandes al pie del apilamiento, asimismo La gravedad específica es un factor determinante en el contenido óptimo de asfalto de una mezcla, puesto que a mayor gravedad específica se requiere un menor contenido de asfalto y viceversa, por la cantidad de asfalto que absorben los poros.

Peralta, J. (2021). En su tesis de maestría titulado “Estudio de la incidencia de la mineralogía de agregados pétreos sobre la adhesividad con asfalto”, tiene como objetivo estudiar el efecto de la composición mineralógica de agregados de diferentes tipos, considerados poco favorables para la adherencia con cementos asfálticos utilizados para la construcción vial. Para lograr el objetivo esta tesis se basó en la recopilación de investigaciones previas sobre la interacción del asfalto y los agregados con énfasis especial en la adherencia. Para ello se tomó como material de estudio los agregados de las canteras El Cajón, El Pedregal e Incominera ubicados en el departamento de Cundinamarca. Se elaboraron 9 briquetas, sobre las cuales se les realizó el muestreo para análisis petrográfico, tanto en secciones delgadas como en bloques pulidos, que permitieran identificar características y relaciones en la interacción asfalto-agregado. Los resultados de mineralogía fueron complementados con análisis de difracción de rayos X, para los agregados de cada fuente. Llegando a la conclusión que desde el punto de vista de

adherencia; si bien es posible evidenciar deficiencias asociadas a la mineralogía de los agregados, existen otros elementos que inciden para que los efectos nocivos en el desempeño no sean significativos en la interacción de los agregados y el asfalto, como, por ejemplo, la porosidad de los agregados, la forma y angulosidad de las partículas. También que las características de forma y tamaño de los agregados mostraron que las partículas de mayor tamaño facilitan la formación de vacíos más grandes en la mezcla, así como también, se evidenció que los agregados con formas subangulares favorecen el cubrimiento con asfalto. Asimismo, la porosidad primaria favorece la impregnación del asfalto, puesto que la presencia de poros facilita la migración y penetración del asfalto, lo que representa una mayor interacción entre el agregado y el bitumen, y, por ende, una mayor adherencia en el concreto.

Gracia, C y Pardo, S. (2012), en su tesis titulada “Determinación del fenómeno de *stripping* en mezclas asfálticas porosas preparadas con asfalto base de similar penetración y proveniente de Colombia y Venezuela”, cuyo objetivo general es comparar el fenómeno de *stripping* en dos mezclas asfálticas porosas preparadas con asfalto de base similar penetración y proveniente de Colombia y Venezuela, adicionalmente este trabajo busca analizar y comparar el comportamiento de un diseño con granulometría abierta, de un asfalto colombiano 60 - 70, y un asfalto de origen venezolano A-20, para determinar las ventajas y desventajas respecto al uso de cada uno en los diseños establecidos. En sus conclusiones manifiesta que las mezclas asfálticas porosas ante la acción del agua perdieron adhesión, y esto se vio reflejado en el desarrollo de los ensayos, el fenómeno de *stripping* se hizo presente en el sentido que se perdió la conexión entre el asfalto y el agregado.

2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.2.1 Pavimentos

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de

micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente. (Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, 2014, p. 18)

Para su verificación de capa del pavimento esta pasará por la evaluación del grado de compactación, también debe de contar con la capacidad portante adecuada, la cual será evaluada al final del proceso constructivo de cada capa, en nuestro país el ensayo más utilizado para la evaluación estructural es la Viga Benkelman, por su eficiencia, precisión y rapidez.

La superficie de rodadura de un pavimento flexible normalmente está conformada por una mezcla asfáltica la misma que es producto de la mezcla de agregados y asfalto como lo veremos a continuación.

2.2.2 Mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas son una combinación de agregados minerales, filler (relleno), asfalto y, de ser el caso, modificadores o aditivos. Los agregados son obtenidos por trituración de rocas y se suelen almacenar separados por tamaños. Aquellos agregados que son mayores a la malla N ° 4 se suelen llamar agregados gruesos, mientras que el pasante de la malla N ° 4 se denomina agregado fino o arena. La arena suele ser resultado de la combinación de arenas naturales obtenidas por zarandeo y arenas resultantes del proceso de trituración de los agregados. Cuando el pasante de la malla N ° 200 no es suficiente, se suele agregar una llenante o filler (relleno) para completar la fracción faltante el cual suele ser cal hidratada o cemento (Menéndez, 2016, p. 173).

Estas se emplean en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, etc. Su principal función es brindar una superficie de rodadura cómoda para los usuarios del parque automotor.

Las mezclas asfálticas pueden ser en caliente o en frío. En nuestro caso trataremos las mezclas asfálticas en caliente.

a. Mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Las mezclas asfálticas están formadas por un material pétreo bien graduado y un cemento asfáltico como ligante, Se elaboran en una planta que calienta el material pétreo a una temperatura de 140 o 150 °C y el

cemento asfáltico a una temperatura de 110 a 130 °C. Después que el material pétreo esté caliente y seco se mezclan sus componentes de acuerdo a una composición granulométrica aprobada, incorporando a continuación el cemento asfáltico en una cantidad previamente definida. Las mezclas terminadas se extienden en capas compactadas a temperaturas superiores a los 90 °C. (UMSS, 2015, p. 255).

b. Tipos de mezclas asfálticas

Según Minaya y Ordoñez (2006). “Las mezclas asfálticas en caliente, HMA se divide en tres tipos: de gradación densa, *open graded* o mezclas abiertas o porosas y *gap graded* o mezclas de granulometría incompleta.” Asimismo, los autores mencionan la existencia de subdivisiones dentro de estos tres tipos de mezclas.

Tabla N° 1
Tipos de Mezclas asfálticas en caliente

Granulometría densa	Granulometría abierta	Granulometría incompleta
Convencional TMN 12.5 a 19 mm (0.5 a 0.75 pulg.)	Capa de fricción porosa	Gradación incompleta convencional
Piedra grande TMN 25 a 37.5 mm (1 a 1.5 pulg.)	Base permeable tratada con asfalto	Asfalto de matriz de piedra (SMA)
Arena asfalto TMN inferior a 9.5 mm (0.375 pulg.)		

Fuente: Minaya y Ordoñez (2001)

Mezclas de granulometría densa (HMA)

HMA de gradación densa están compuestas por ligante de cemento asfáltico y agregado de gradación continua. Las mezclas convencionales de HMA consisten de agregados de tamaño máximo nominal en el rango de 12.5 mm (0.5 pulg.) a 19 mm (0.75 pulg.).

Large-stone mix contienen agregados gruesos con un tamaño máximo nominal mayor que 25 mm (1 pulg.). Estas mezclas tienen un mayor porcentaje de agregados gruesos que las mezclas convencionales (mayores que el tamiz 4.75 mm o no. 4). Por el mayor tamaño de los

agregados, el esfuerzo de compactación aplicado a la mezcla debe ser monitoreado para prevenir fracturas excesivas de los agregados mayores durante el proceso de compactación.

Asfalto-arena está compuesto por agregado que pasa el tamiz 9.5 mm o 0.375 pulg. El contenido de ligante en la mezcla es mayor que para mezclas HMA convencionales porque se incrementan los vacíos en el agregado mineral de la mezcla. Las arenas usadas en este tipo de mezcla son arenas chancadas o naturales de textura rugosa, la resistencia a las deformaciones permanentes de este tipo de mezclas es típicamente muy bajo.

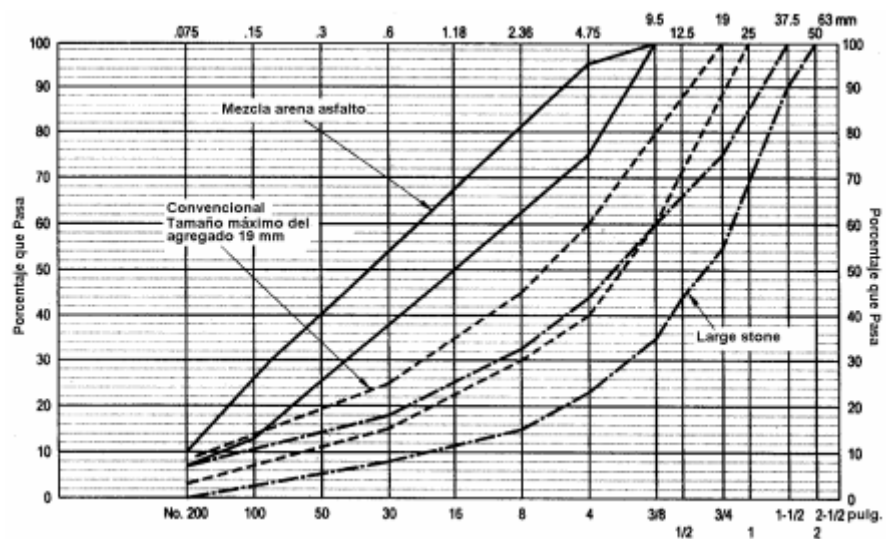


Figura N° 3: Curva granulométrica de mezclas densas
Fuente: Minaya y Ordoñez (2006)

El tamaño de las partículas que componen el agregado, es determinante en una mezcla asfáltica puesto que modifican, aumentando o disminuyendo sus propiedades mecánicas. El uso de diferentes husos granulométricos de los agregados depende de la función de la carpeta de rodadura y el nivel de tensión que soportará.

Mezclas de granulometría abierta

Las mezclas *open-graded* consisten de una gradación relativamente uniforme y ligante de cemento asfáltico o ligante modificado. El principal propósito de este tipo de mezclas es servir como una capa drenante, tanto en la superficie del pavimento o dentro de la estructura del pavimento.

Como se indicó, hay dos tipos de mezclas *open-graded*. El primer tipo de mezcla son utilizadas como una superficie gruesa para proporcionar drenaje libre en la superficie y prevenir los encharcamientos, reduce las salpicaduras de las llantas, y reduce el ruido de las llantas. Este tipo de mezcla es frecuentemente definido como *open-graded friction course* OGFC. El segundo tipo de mezcla, denominado base permeable tratada con asfalto, comprende una gradación uniforme de tamaño máximo nominal mayor que las usadas en OGFC –19 mm (0.75 pulg.) a 25 mm (1 pulg.) y se usa para drenar el agua que entra a la estructura del pavimento desde la superficie o de la subrasante. La producción de las mezclas *open-graded* es similar a las mezclas de gradación densa. Se usan temperaturas de mezcla menores para prevenir el escurrimiento del asfalto caliente o *draindown* durante el almacenamiento o traslado al lugar del proyecto. Recientemente se están empleando polímeros y fibras en mezclas *open-graded friction course* para reducir el *draindown* y mejorar la durabilidad de la mezcla. La colocación de este tipo de mezclas es convencional. El esfuerzo de compactación por lo general es menor que las mezclas de gradación densa. (Minaya y Ordoñez, 2006. p 165-167).

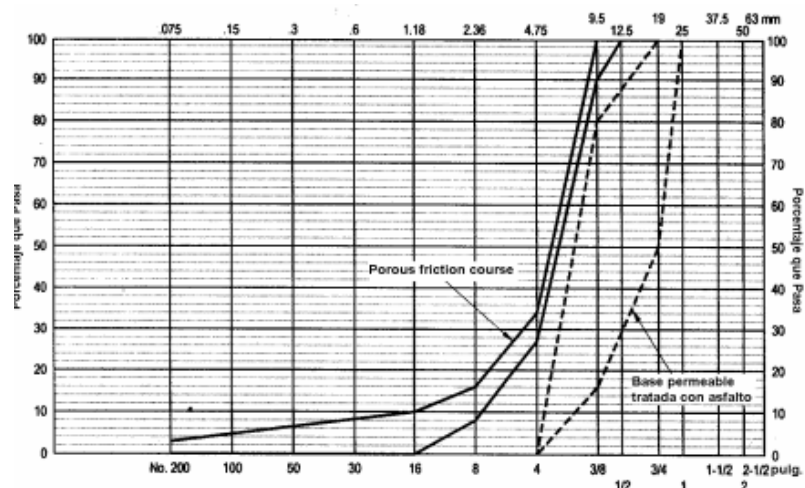


Figura N° 4: Curva granulométrica de mezclas abiertas
Fuente: Minaya y Ordoñez (2006)

Mezclas de granulometría incompleta

La función de las mezclas *gap-graded* es similar a las mezclas de gradación densa porque estas también proporcionan capas densas

impermeables cuando la compactación es apropiada. Las mezclas *gap-graded* convencionales se vienen usando por muchos años. El rango de los agregados va desde gruesos hasta finos, con poca presencia de tamaños intermedios.

El segundo tipo de mezclas *gap-graded* es el *stone mastic asphalt*, SMA. La producción de mezclas SMA requiere la incorporación de significativas cantidades de filler mineral al agregado normal de tal manera que alcance del 8 al 10% de material que pasa el tamiz 0.075 mm o no. 200. Como en las mezclas *open-graded* la temperatura de descarga de la mezcla necesita ser controlada para prevenir el escurrimiento o *draindown* del ligante durante el almacenamiento o transporte. Las fibras y/o polímeros son normalmente usados con SMA para prevenir el *draindown*. (Minaya y Ordoñez, 2006, p. 167).

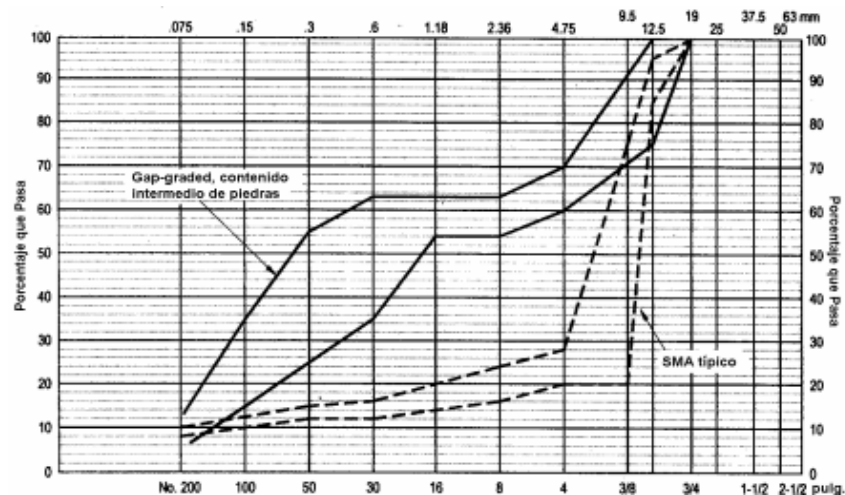


Figura N° 5: Curva granulométrica de mezclas incompletas
Fuente: Minaya y Ordoñez (2006)

c. Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico de los agregados es un ensayo el cual permite obtener las relaciones de agregados finos y gruesos que se encuentran en la muestra de suelo. Este tipo de análisis se divide en dos clasificaciones, por tamizado para partículas gruesas (gravas y arenas) y sedimentación para partículas finas (limos y arcillas), denominación por la clasificación de partículas de suelo Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Este ensayo es importante porque nos ayuda a clasificar los

materiales de construcción y la selección de los mejores materiales según especifica la norma técnica E-010. (Gonzalo, Escobar, 2016, pág. 50).

El desarrollo del tamizado de los agregados, a posteriori de la trituración, indica en el resultado de una granulometría regulada con los márgenes en el tamaño del agregado donde un valor a tomar en cuenta en la elaboración de pavimentos de buena calidad reside en que los agregados se encuentren graduados de manera específica. Pese a ello, por motivos económicos, el agregado triturado de fábrica vienen a ser utilizado con poco o sin tamizado, también conocido como agregado triturado sin cribar y es utilizado en muchos proyectos de construcción de pavimentos. Sin embargo, es necesario el observar y asegurar la operación de triturado para obtener de resultado un agregado que cumpla con los parámetros de las especificaciones (*Asphalt Institute*, 2016, pág. 50).

Para la preparación de mezcla asfáltica en caliente existen dos métodos de diseño tradicionales que son el método Marshall y el método HVEEM. En el Perú se utiliza generalmente el método de diseño Marshall razón por la cual solamente trataremos este método.

d. Diseño Marshall

Este método fue desarrollado por Bruce Marshall del Departamento de Carreteras de Misisipi en la década de 1930 y fue refinado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos en las décadas de 1940 y 1950. MSHTO aprobó este procedimiento y diseño de la mezcla como MSHTO R-12 "Norma práctica recomendada para el diseño de mezclas bituminosas mediante los procedimientos Marshall y Hveem". Aunque fue usado en mezclas para un tamaño de agregado máximo de 1 pulgada, el procedimiento ha sido modificado para usar agregados de tamaño grande (hasta 1.5 pulgadas). Este método continúa siendo usado ampliamente en trabajos de diseño de pavimentos, incluso para el diseño de mezclas de emulsión asfáltica, así como para el ensayo y compactación de muestras de control de calidad durante la construcción. (Menéndez, 2016, p. 257)

El diseño de mezclas asfálticas requiere de un conocimiento de las propiedades más significativas y las características del comportamiento

de las mezclas bituminosas, así como el efecto que puedan causarle sus componentes, se mencionan a continuación.

2.2.3 Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas

a. Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones, y otras señas que indican cambios de la mezcla.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como la forma textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregados se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales entre más angular sea la forma de las partículas del agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla. (Asphalt Institute, 1992. pág. 61).

Tabla N° 2
Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento

ESTABILIDAD BAJA	
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento, y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo; dificultad para compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

Fuente: Asphalt Institute (1992)

b. Durabilidad

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las

películas del asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o combinación de ambos.

Generalmente la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la impermeabilidad. (Asphalt Institute pág. 62).

Una graduación densa de agregado firme, duro y resistente a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. (Asphalt Institute pág. 62)

Tabla N° 3
Causas y efectos de un poco durabilidad

POCA DURABILIDAD	
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregados
Alto contenido de vacíos debido al diseño o falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua (hidrofilicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

Fuente: Asphalt Institute (1992)

c. Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relacionan con impermeabilidad. aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es más importante

que su cantidad. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad este dentro de los límites especificados.

Tabla N° 4
Causas y efectos de la permeabilidad

MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE	
Bajo contenido de asfalto	Las películas de asfalto causaran, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad.

Fuente: Asphalt Institute (1992)

Asimismo, el Instituto Mexicano del Transporte (2005) menciona que la impermeabilidad o también denominada resistencia al daño por humedad, “se relaciona con las propiedades químicas del agregado mineral y el contenido de vacíos de aire en la mezcla compactada, y por tanto con los procesos de oxidación del asfalto, su adherencia y el drenaje del pavimento” (p. 17).

d. Trabajabilidad

La trabajabilidad esta descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen una buena trabajabilidad son fáciles de colocar. La trabajabilidad

puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable.

Un contenido demasiado alto de relleno mineral también puede afectar la trabajabilidad, puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación. (Asphalt Institute pág. 63).

Tabla N° 5

Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad

MALA TRABAJABILIDAD	
Tamaño máximo de partícula: grande Demasiado agregado grueso	Superficie áspera, difícil de colocar Puede ser difícil de compactar Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera, difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Demasiada arena de tamaño medio	Mezcla tierna, altamente permeable
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable
Alto contenido de relleno mineral	

Fuente: Asphalt Institute (1992)

e. Flexibilidad

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (Bajo cargas o se expande (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfaltos, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requerimientos de estabilidad, de tal manera

que se debe buscar el equilibrio de los mismos. (*Asphalt Institute* pág. 64).

f. Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tiene un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. a medida que el porcentaje de vacíos aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento (el periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye y. Así mismo un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado a las cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles. *Asphalt Institute* pág. 64).

Tabla N° 6
Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga

MALA RESISTENCIA A LA FATIGA	
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga

Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento

Fuente: Asphalt Institute (1992)

g. Resistencia al deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. para poder obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener en contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidropaleo) la resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr.

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. la mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con un tamaño máximo de 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ") a 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ "). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimiento (aislamiento) bajo carga de tránsito. Los agregados calcáreos, son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento. Asphalt Institute pág. 65).

Tabla N° 7

Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento

POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMINETO	
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropaleo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: Asphalt Institute (1992)

2.2.4 Agregados

En el Perú, el Manual de Carreteras del MTC, Especificaciones Técnicas generales para construcción EG-2013 da a conocer las siguientes consideraciones sobre los agregados:

Agregado grueso, proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto. (p. 469-470).

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Figura N° 6: Requerimientos para los agregados gruesos
Fuente: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción (2013)

Agregado fino, estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación. (p. 470).

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

Figura N° 7: Requerimientos para los agregados finos
Fuente: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción (2013)

Filler o polvo mineral: El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Su peso unitario aparente, determinado por la norma de ensayo MTC E 205, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm³ y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6. (Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013, p. 470)

a. Calidad de los agregados

Según la Guía de Buenas Prácticas para el Control de Calidad de Mezclas Asfálticas y Aplicaciones Bituminosas. (2019):

La identificación del tipo de agregado y sus características es un tema muy importante de inspección. Conocer el tipo de roca y su mineralogía junto con los pesos específicos (real, aparente, superficie saturada seca) y su absorción son elementos esenciales que ningún Supervisor puede ignorar. Desde luego la compatibilidad entre los agregados y el asfalto es el siguiente paso a conocer, más allá del DLA (Desgaste Los Ángeles), granulometrías e Índice de Lajas. Los agregados para mezclas asfálticas pueden ser naturales o artificiales. Se suele definir como agregados en mezclas asfálticas a los fragmentos de roca, obtenidos naturalmente o por trituración con la finalidad de generar una estructura granular con tamaños adecuados para el tipo de mezcla buscada.

Cuando se trata de los agregados pétreos en las mezclas asfálticas se deben seleccionar aquellos que sean limpios, duros, de forma adecuada y durables en términos amplios. Además, claro está de tener buena adherencia con el asfalto, suficiente resistencia al pulido si van en carpeta asfáltica, y como se mencionará forma adecuada para brindar una mezcla trabajable pero resistente a las deformaciones permanentes. Un tema aparte es la absorción de agua que preferentemente debe ser menor al 1%, pero que cuando es mayor hay que analizar todas las propiedades del material para su aceptación y realizar la corrección por el asfalto perdido por absorción (p.69-70).

b. Tipos de roca

La estructura principal en el estado natural o base de los suelos es la colocación y de cómo dispone y situación de estado de adición de los granos ya sea gruesos o finos, esto depende del entorno de meteorización, sedimentarios y transportados, la consecuencia de proceso es la forma y propiedades que adoptara el suelo debido a su entorno, a continuación, se detallaran de los tipos de rocas que existen.

Rocas ígneas, Las rocas ígneas formadas por material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado, pueden ser: extrusivas e intrusivas. Las rocas ígneas extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica. La roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmósfera. La riolita, la andesita, y el basalto son ejemplos de rocas ígneas extrusivas. Las rocas ígneas intrusivas se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y endurece lentamente, permitiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia, la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia; siendo ejemplos el granito, la diorita, y el gabro. Los movimientos terrestres y los procesos de erosión traen rocas intrusivas a la superficie terrestre,

donde pueden ser explotadas en cantera y posteriormente usadas. (Cortez, Guzmán y Reyes. 2007. p 11)

Rocas sedimentarias, Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como es el caso de las areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (algunas calizas), de plantas (carbón), de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal, yeso), o de la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales. Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son silíceos y calcáneos. Rocas sedimentarias silíceas son aquellas que contienen un porcentaje alto de sílice. Aquellas rocas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio (calizas) son llamadas calcáneas. (Cortez, Guzmán y Reyes. 2007. p 11)

Rocas metamórficas, Las rocas metamórficas son, generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por procesos de intensa presión y calor dentro de la tierra, y también por reacciones químicas. Muchos tipos de rocas metamórficas presentan un rasgo característico: los minerales están alineados en capas o planos paralelos. Partir la roca en el sentido de sus planos es mucho más fácil que partirla en otras direcciones. Las rocas metamórficas que exhiben este tipo de estructura se denominan foliadas. Ejemplos de rocas foliadas son los gneises, los esquistos (formados de rocas ígneas) y la pizarra (formada de la arcilla esquistosa; una roca sedimentaria). (Cortez, Guzmán y Reyes. 2007. p 11)

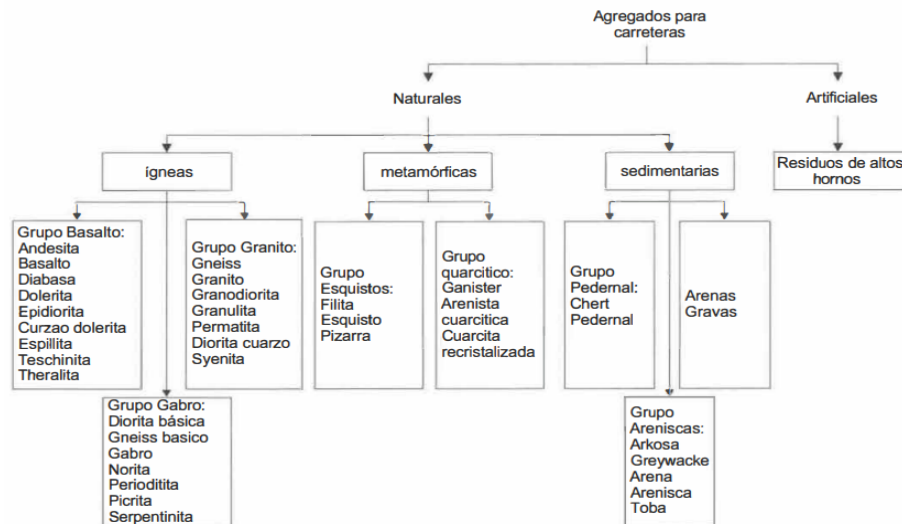


Figura N° 8: Tipos principales de rocas para la construcción de carreteras
Fuente: Menéndez, R. (2016)

Una vez finalizado el proceso se procede a identificar las propiedades y características de los suelos, para evaluar si son aptos para ser utilizados como medio de material para realizar y obtener estabilidad que va a garantizar la durabilidad y estabilidad de los proyectos. Las propiedades ingenieriles, características y formas dependen del depósito que se encuentre en la zona y sus componentes afectan de manera directa las propiedades mecánicas de los agregados como la granulometría, peso volumétrico, peso específico, y absorción.

Componente	Arena	Limo	Mica	Carbonato	Sulfato	Caolinita	Illita	Montmorillonita	Materia orgánica	Alofano
Propiedad										
Permeabilidad seco	ma	b	m	m	m	b	mb	mb	ma	m
Permeabilidad humedo	ma	a	a	m	m	b	mb	mb	ma	ma
Estabilidad volumétrica	ma	a	a	ma	ma	a	b	mb	a	m
Plasticidad cohesión	b	mb	b	b	b	m	b	ma	m	ma
Resistencia seco		a	a	a	a	m	a	ma	b	m
Resistencia humedo		mb	m	a	a	b	m	mb	mb	b
Compacacón óptima	a	m	mb	ma	ma	b	m	mb	mb	ma

ma: muy alto, a: alto, m: moderado, b:bajo, mb:muy bajo

Figura N° 9: Propiedades de los componentes de los suelos
Fuente: Gonzalo, E. (2016)

c. Fuentes de agregado

Agregados de origen natural, Los agregados derivados de rocas naturales se pueden clasificar en función del tamaño de la piedra triturada, arena o grava. Arena y grava comprenden una mezcla limpia de tamaños de agregados se encuentran en depósitos naturales, tales como cauces de ríos. La palabra "natural", en referencia a la arena se utiliza a veces para indicar que este agregado está disponible en los depósitos naturales y que no se producen a través de procesos de trituración. (Menéndez. 2016. p. 132)

Agregados de origen artificial, “Son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno”. (Cortez, Guzmán y Reyes. 2007. p 16)

Asimismo, Menéndez (2016) manifiesta lo siguiente:

Las escorias de alto horno (o hierro), usadas ampliamente en la industria del pavimento, son formadas como subproducto en altos hornos; mientras que las escorias de acero son formadas en hornos básicos de oxígeno o eléctricos. La escoria de alto horno es más liviana que los agregados naturales, las escorias de acero son más pesadas. El peso liviano de una escoria de alto horno proporciona la ventaja de menor carga de camiones para un mismo volumen de materiales. Las escorias de acero, por otro lado, tienen un gran ángulo de fricción interna, y son muy convenientes para capas de pavimentos resistentes al ahuellamiento (p.133)

d. Mineralogía de los agregados

Existen diferentes métodos para estudiar la composición mineralógica de un material, entre estas se encuentran la mineralogía de muestras macro, es decir estudiar su composición a partir de muestras de mano; si se desea conocer con mayor detalle la composición, se procede a realizar

otras técnicas como mineralogía óptica, microscopía electrónica de barrido y de transmisión, difracción y fluorescencia de rayos X.

Los agregados generalmente se clasifican de acuerdo con la composición mineralógica en términos de naturaleza hidrófila (ácida) e hidrófoba (básica) basándose en su afinidad con el aglutinante de asfalto. El agregado hidrofóbico (alto contenido de carbonato) como la piedra caliza exhibe una mejor capacidad de recubrimiento y forma un enlace más fuerte con el aglutinante de asfalto que el agregado hidrófilo (alto contenido de sílice, por ejemplo, arenitas).

La reacción química entre los agregados de alto contenido de carbonatos suele ser más fuerte en presencia de agua, (Hicks, 1991); aquellos en condiciones de reserva a menudo están húmedos y cubiertos de polvo, lo que agrega efectos perjudiciales, ya que, cantidades excesivas de polvo tienden a disminuir la trabajabilidad de la mezcla y la humedad interrumpe la unión entre el aglutinante y el agregado. Otra variable relacionada con la producción que puede tener un impacto en la resistencia a la separación de una mezcla, es la humedad residual en el agregado después de ser procesado, pues los agregados con humedad retenida después de pasar el secado, pueden afectar la adhesión del aglutinante con la superficie del agregado. (Peralta 2021. p. 32)

Mineralogía de rocas ígneas

De acuerdo a esto, la composición mineralógica de las rocas depende de la temperatura de cristalización de sus minerales que, a su vez, depende de los elementos químicos que los componen. Este proceso de cristalización es sumamente competitivo, se busca llenar cada espacio libre y, por lo tanto, este tipo de rocas se caracterizan por tener porosidad y permeabilidad virtual cero (MacKenzie et al., 1982). (Lleras. 2018. p. 7)

Mineralogía de rocas sedimentarias

Su mineralogía se ve altamente influenciada por la distancia recorrida por los sedimentos que las componen. Esta distancia depende de la resistencia al desgaste de los minerales de los que se componen los

sedimentos, por ejemplo, el cuarzo presenta mayor resistencia que los feldespatos, por lo que está en capacidad de viajar mayores trayectos (Suttner et al., 1981). Una vez culminada la etapa de transporte, los sedimentos sufren una serie de procesos de consolidación y litificación hasta formar rocas. Por la naturaleza de este tipo de procesos, las rocas sedimentarias tienden a tener un mayor contenido de vacíos, su porosidad y permeabilidad es relativamente alta respecto a la de rocas ígneas y metamórficas. (Lleras. 2018. p. 7)

Mineralogía de rocas metamórficas

Al igual que las rocas ígneas, las rocas de tipo metamórfico se caracterizan por presentar condiciones de porosidad y permeabilidad cercanas a cero. (Peralta 2021. p. 32)

e. Propiedades de los agregados

Granulometría La gradación total da el porcentaje de cada uno de los tamaños en una mezcla. Normalmente se expresa como el porcentaje del material que pasa un determinado tamiz con respecto al peso total de las muestras. La distribución del tamaño de las partículas de agregado está directamente relacionada con el desempeño de las capas de pavimento. En general, las distribuciones de tamaño de agregados se clasifican como uniforme, bien graduada, graduada no uniforme, o abierta. Estas distribuciones se muestran en una escala semilogarítmica en la siguiente figura. Los tamices, que se utilizan normalmente en la determinación de la gradación son 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200 (50,8 mm; 37,5 mm; 25,4 mm; 19,0 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm y 0,075 mm, respectivamente).

La gradación del agregado se presenta típicamente en forma gráfica. El porcentaje pasante en un tamiz se representa en un eje de ordenadas en una escala aritmética y el tamaño de partícula se representa en la abscisa en una escala logarítmica. Alternativamente, se pueden graficar utilizando el método de Fuller y Thompson, donde el % que pasa se representa en función del tamaño de las partículas elevado a un

exponente n. Fuller y Thompson observaron que el material alcanza su densidad máxima posible (es decir, el empaquetamiento más denso de partículas), cuando su graduación coincide con la siguiente expresión:

$$P = 100\left(\frac{d}{D}\right)^n$$

Donde: P = porcentaje de agregados que pasan el tamiz d

D = tamaño máximo del agregado en la gradación

n = exponente tiene un valor de 0.45 a 0.5.

Las mezclas de agregado son designadas por el tamaño máximo o por el tamaño nominal máximo del agregado. De acuerdo con la norma ASTM C 125, el tamaño máximo se refiere al menor tamiz a través del cual el 100% de las partículas de la muestra global pasa y el tamaño máximo nominal como el mayor tamiz que tiene el primer retenido (menos del 10% en peso). (Menéndez, R. 2016, p. 137)

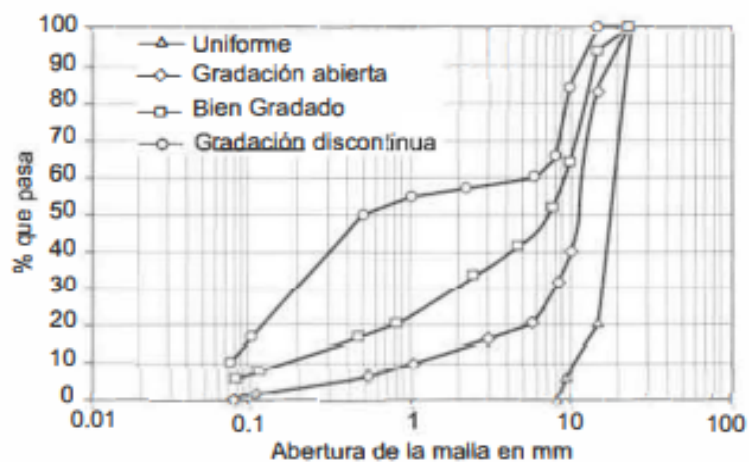


Figura N° 10: Ejemplo de diferentes gradaciones de agregados
Fuente: Menéndez, R. (2016)

Las especificaciones son desarrolladas en función a la experiencia, al resultado de laboratorio y a estudios de campo. La variación en la gradación para distintos usos granulométricos es debido al hecho de que las gradaciones están especificadas a mantenerse cerca a la gradación de densidad máxima. La línea de la densidad máxima puede ser obtenida por medio de la ecuación desarrollada por Fuller y Thompson (1906)

para un valor de $n = 0.45$. Para aplicaciones comunes en pavimentos, se usan mezclas de gradación densa. Para mejorar el drenaje y la fricción, se utiliza una capa de fricción de gradación abierta, mientras que para mezclas altamente resistentes se utiliza un SMA (*Stone matrix asphalt*). (Menéndez, R. 2016, p. 137-138)

Asimismo, el manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la construcción, menciona que para la gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la Tabla 423-03 (EG-2013). Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

Figura N° 11: Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Fuente: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción (2013)

Mientras tanto se determina para obtener mejores resultados en la resistencia al deslizamiento se debe contar con una óptima macro textura en la superficie asfáltica que van a apoyar el drenaje de la vía en caso de volúmenes altos que disminuyan la fricción entre neumático y pavimento, además de tener una suficiencia en partículas con alta resistencia al pulimento.

Tamiz	Tamaño máximo nominal del agregado				
	(1 1/2")	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")
Porcentaje acumulado que pasa (por peso)					
50 mm (2")	100				
37,5 mm (1 1/2")	90-100				
25,0 mm (1")	90-100		100		
19,0 mm (3/4")	56-80		90-100		100
12,5 mm (1/2")	56-80			90-100	
9,5 mm (3/8")	56-80				90-100
4,75 mm (Nº 4)	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85
2,36 mm (Nº 8)*	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67
0,30 mm (Nº 50)	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23
0,15 mm (Nº 100)					
0,075 mm (Nº 200)**	0-5	1-7	2-8	2-10	2-10
Cemento asfáltico, % en peso de la mezcla total***	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12
	4 y 67	5 y 7	67 o 68	7	
	4 y 68	57	6 y 8	78	8

Figura N° 12: Composición Típica del Concreto Asfáltico, ASTM D-3515
Fuente: Minaya y Ordoñez. (2006)

Tamiz	Mezcla Densa								
	Tamaño máximo nominal de agregados								
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16
Gradación de agregados (grava; fino y filler si se requiere) Porcentaje en peso									
2 1/2" (63mm)	100	-	-	-	-	-	-	-	-
2" (50mm)	90-100	100	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2" (37.5mm)	-	90-100	100	-	-	-	-	-	-
1" (25.0mm)	60-80	-	90-100	100	-	-	-	-	-
3/4" (19.0mm)	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-	-
1/2" (12.5mm)	35-65	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-
3/8" (9.5mm)	-	-	-	56-80	-	90-100	100	-	-
Nº4 (4.75mm)	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	-	100
Nº8 (2.36mm)	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	-	95-100
Nº16 (1.18mm)	-	-	-	-	-	-	40-80	-	85-100
Nº30 (600µm)	-	-	-	-	-	-	25-65	-	70-95
Nº50 (300µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	-	45-75
Nº100 (150µm)	-	-	-	-	-	-	3-20	-	20-40
Nº200 (75µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	-	9-20

Figura N° 13: Composición Típica del Concreto Asfáltico, ASTM D-3515
Fuente: Minaya y Ordoñez. (2006)

Peso específico y absorción

La impermeabilidad se ve directamente afectada por estas propiedades debido a que el peso específico viene a ser una relación del peso de un material respecto a su volumen desplazado inmersión y la absorción el

peso de la mezcla seca la cantidad de agua que puede absorber para llenar los vacíos en su material

Según el MTC EG - 2013. El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen. También es usado en el cálculo de vacíos en el agregado del ensayo MTC E 203.

Según Minaya y Ordoñez (2006). La gravedad específica del agregado es necesaria para determinar el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas compactadas. Por definición, la gravedad específica de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23°C (73.4°F). La ecuación usada es:

$$\textit{Gravedad Específica} = \frac{\textit{Peso}}{\textit{Volumen} \times \textit{peso específico del agua}}$$

Cuando se trabaja en el sistema internacional (SI), el peso específico del agua es 1.0gr/cm³, convirtiendo la ecuación de la gravedad específica en:

$$\textit{Gravedad Específica} = \frac{\textit{Peso}}{\textit{Volumen}}$$

Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados: Gravedad Específica Seca Aparente, Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca) y Saturada Superficialmente Seca Bulk, Gravedad Específica Efectiva. (p. 374)

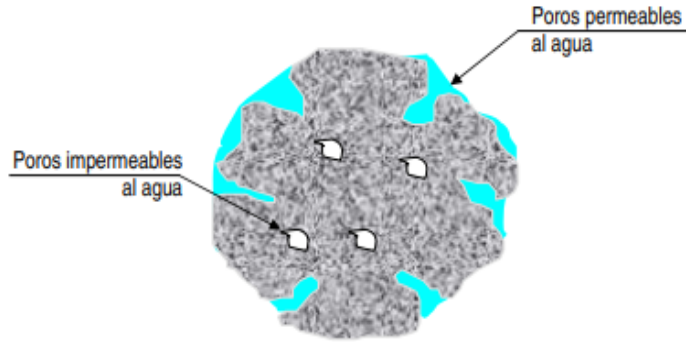


Figura N° 14: Partícula de agregado
Fuente: Minaya y Ordoñez. (2006)

Gravedad específica Seca Aparente

La gravedad específica seca aparente incluye solamente el volumen de las partículas de agregado más los poros impermeables.

$$\text{Gravedad específica seca aparente} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado seco}}$$

$$\text{Gravedad específica seca aparente} = G_{sa} = \frac{W_s}{V_s}$$

Gravedad específica Seca Bulk

Incluye volumen total de las partículas de agregados más el volumen de poros llenos con agua luego de 24 horas de inmersión.

$$\text{Gravedad específica seca bulk} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado más los poros permeables}}$$

$$\text{Gravedad específica seca bulk} = G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp})}$$

Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk

La gravedad específica saturada superficialmente seca bulk define la relación entre el peso del agregado en su condición saturada superficialmente seca, que se obtiene secando las partículas con un paño luego de la inmersión, y el volumen del agregado más los vacíos permeables. La gravedad específica Saturada Superficialmente Seca Bulk es usada por la *U.S. Corps of Engineers* para el diseño y control de

Mezclas Asfálticas en Caliente cuando se usan agregados con porcentajes de absorción mayores que 2.5%. (Minaya y Ordoñez. 2016. p 377)

$$\text{Grav. esp. sat. sup. seca bulk} = \frac{\text{Peso del agregado saturado superficialmente seco}}{\text{Volumen del agregado más los poros permeables}}$$

$$\text{Gravedad específica seca bulk} = G_{SSS} \cdot b = \frac{W_{SSS}}{(V_s + V_{pp})}$$

Angularidad y textura

La geometría de las partículas puede ser completamente expresada en términos de tres propiedades independientes, la forma, angularidad y la textura superficial. Un diagrama que ilustra las diferencias entre estas propiedades se muestra en la siguiente figura. La forma refleja las variaciones en las proporciones de una partícula. La angularidad representa las variaciones en las esquinas. La textura de la superficie se utiliza para describir la irregularidad de la superficie o asperezas en una escala muy pequeña. La angulosidad del agregado fino puede ser medido mediante el método ASTM C 1252. Este método se refiere a menudo como la angulosidad de agregado fino (FAA) de prueba.

La angularidad del agregado grueso se mide con la norma ASTM D 5821. Este método se basa en la evaluación de la angularidad de una muestra global para examinar visualmente cada partícula y cortar el número de caras chatas. Es también el método utilizado actualmente en el sistema Superpave para evaluar la angulosidad de los agregados gruesos utilizados en las mezclas asfálticas.

Se ha demostrado que el aumento de la angulosidad de agregado y la textura incrementan la resistencia y estabilidad de las mezclas asfálticas. En general, las mezclas abiertas están más influenciadas por la angularidad y textura de los agregados que las mezclas densas. Además, la angularidad del agregado fino desempeña un papel más importante que la angularidad del árido grueso para influir en las propiedades de la mezcla asfáltica. La presencia de exceso de partículas chatas y alargadas no es deseable en las mezclas asfálticas debido a que tienden a romperse

durante la producción y la construcción, lo que afecta a la durabilidad de las mezclas asfálticas. (Menéndez, R. 2016, p. 141)

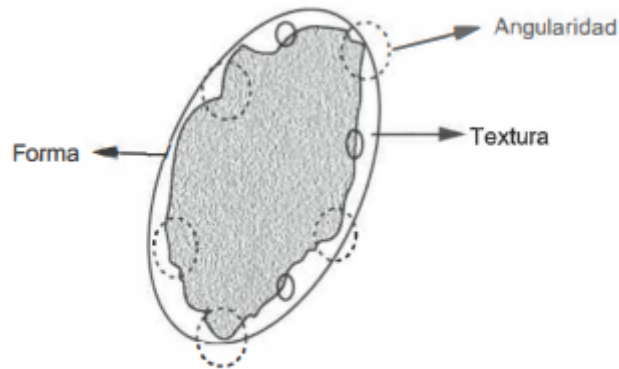


Figura N° 15: Esquema de forma, angularidad y textura.
Fuente: Menéndez, R. (2016)

Índice de Partículas

Esta propiedad se determina mediante la norma ASTM D3398 "Método de Prueba Estándar para Índice de agregados de partículas de forma y textura" (ASTM, 2003). En este método de prueba, los agregados limpios, lavados y secados en el horno son separados en diferentes tamaños, y los agregados de cada tamaño son compactados en un molde separado con una varilla de apisonamiento, usando los primeros 10 golpes por capa de tres capas y luego 50 golpes por cada capa de tres capas. Los vacíos son determinados a partir del peso del molde con el agregado y la gravedad específica Bulk de los agregados. El índice de partícula es calculado para cada fracción, y luego un índice combinado es calculado en base a la proporción relativa (porcentaje de la mezcla por peso) de las diferentes fracciones. Para calcular el índice de partículas se aplica la siguiente ecuación.

$$I_a = 1.25V_{10} - 0.25V_{50} - 32.0$$

Donde:

I_a = índice de partículas.

V10 y V50 = % de vacíos compactados a 10 y 50 golpes de apisonamiento estándar de la barra por capa, respectivamente.

Los valores de índice de partícula de la mezcla están en el rango de 6 (para agregados redondeados con superficies suaves) a 20 (para agregados triturados angulares con una textura áspera). Para los mismos vacíos de aire, las mezclas con agregados con un mayor índice de partícula tienden a mostrar mayor resistencia. Las partículas angulares tienden a proporcionar mayor unión y fricción interna (mayor resistencia al esfuerzo cortante), así las partículas con textura rugosa (como en la mayoría de agregados triturados) son deseables por el incremento de resistencia y vacíos para acomodar más asfalto (mayor durabilidad). Así mismo, la existencia de partículas planas y/o largas no es deseable, ya que pueden afectar la compactación y tener una tendencia de incremento de vacíos, rotura durante la construcción y bajo el tráfico, y producir partículas con superficies no cubiertas (con asfalto) y alterar negativamente las propiedades volumétricas. (Menéndez, R. 2016, p. 142)



Figura N° 16: Forma de las partículas de los materiales granulares
Fuente: Menéndez, R. (2016)

Partículas chatas y alargadas

Corresponde al procedimiento de la norma ASTM D-4791. Se consideran partículas chatas y planas a aquellas partículas que tienen una relación de ancho / espesor o largo/ ancho mayor que el valor especificado de 3 a 1, 4 a 1, o 5 a 1 (el más común). Estos ensayos son realizados en partículas de cada tamaño, usando una calibración

proporcional en una muestra representativa y, luego, el valor total es calculado como porcentaje, en términos de número o masa. Se especifican límites máximos en los porcentajes de partículas planas o chatas, que se encuentran en un rango de 5 a 20, por ejemplo, para una relación de 5 a 1.

Caras fracturadas

El ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en agregados gruesos ASTM D-5821 consiste en la determinación del porcentaje de agregados gruesos (que son retenidos en el tamiz de 4.75 mm) con una o más caras fracturadas, el cual define como una cara la que expone la superficie interior de una partícula. Se dice que una partícula tiene una cara fracturada si, por ejemplo, el 25 % del área (estándar ASTM) de la cara está fracturada. Durante este ensayo, de una muestra específica, se separan las partículas con caras fracturadas de aquellas que no lo están y se determina el porcentaje de partículas con una o dos caras fracturadas. Se especifica límites mínimos en el porcentaje de partículas fracturadas dentro de una mezcla de agregados, estos límites están en el rango de 30 a 90, para una, dos o más caras fracturadas, dependiendo de la capa, con capas superficiales que podrían tener requerimientos para altos porcentajes (Menéndez, R. 2016, p. 143)

Equivalente de arena

La prueba de equivalente de arena AASHTO T176 (ASTM D 2419) se utiliza para determinar las proporciones relativas de arcilla y polvo en los agregados finos. En esta prueba, una muestra de agregado fino se coloca en una probeta con una solución de floculante, se agita en el agua y se deja reposar. La presencia de una solución de floculante y la agitación en el recipiente hacen que el material arcilloso entre en suspensión por encima del agregado. Después de permitir que los componentes se asienten, se mide la altura de arcilla en suspensión y la altura del agregado sedimentado. El valor del equivalente de arena es la relación entre la lectura de la altura de la arena de lectura con respecto a la lectura de la altura de la arcilla expresada en porcentaje. Un valor equivalente de

arena con bajo o alto contenido de arcilla, significa que tiene "suciedad" en la superficie de los agregados. Esta "tierra" puede reducir la adherencia del agregado con el asfalto o el mortero de cemento. (Menéndez, R. 2016, p. 144)

Impurezas

El procedimiento descrito en la norma ASTM C 142 para determinar los grumos de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados, es otro método que puede utilizarse para medir la limpieza de los agregados finos. La norma ASTM C 40 se utiliza para determinar las impurezas orgánicas en arenas para hormigones. Este procedimiento se utiliza para determinar si las impurezas orgánicas están presentes a un nivel que requiere más pruebas antes de su aprobación para su uso. ASTM D 3744 (índice de durabilidad agregada) es otro procedimiento que se puede utilizar para determinar la resistencia relativa de un agregado en la producción de arcillas perjudiciales cuando se someten a los métodos mecánicos de la degradación en presencia de agua. (Menéndez 2016. p. 143)

2.2.5 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio se orientan a determinar las propiedades físicas y las propiedades mecánicas. Las propiedades físicas se usan con frecuencia para correlacionarlas con otras propiedades del material tales como la resistencia o la permeabilidad. Las principales propiedades físicas de interés son el peso específico de los sólidos, contenido de agua, peso unitario (densidad), la granulometría, la plasticidad (límites de Atterberg), la clasificación y las relaciones densidad humedad. (Menéndez, 2016, p. 76)

ENSAYOS	Sub base	Base Granular	Afirmado	Asfalto	
				Piedra	Arena
Análisis Granulométrico por Tamizado	✓	✓	✓	✓	✓
Límites de Consistencia	✓	✓	✓		
Equivalente de Arena	✓	✓	✓		✓
Peso específico y Absorción				✓	✓
Peso unitario suelto				✓	✓
Peso unitario varillado				✓	✓
Abrasión	✓	✓	✓	✓	
Proctor Modificado	✓	✓	✓		
CBR	✓	✓	✓		
Porcentaje de caras fracturadas	✓	✓		✓	
% de partículas chatas y alargadas	✓	✓		✓	
Contenido de impurezas orgánicas	✓	✓			✓
Contenido de sales solubles totales	✓	✓	✓	✓	✓
Adherencia (entre mallas N°3/8" y ¼")				✓	
Riedel Weber (según norma a emplear)					✓
Durabilidad				✓	✓

Figura N° 17: Ensayos para agregados en pavimentos
Fuente. Minaya y Ordoñez. (2006)

a. MTC E 107 Análisis granulométrico por tamizado

Llamado también Análisis Mecánico y consistente en la determinación de la distribución de las partículas de un suelo en cuanto a su tamaño, pudiendo obtener así los porcentajes de piedra, grava, arena, limos y arcilla. Este análisis se hace por un proceso de tamizado (análisis con tamices) en suelos de grano grueso, y por un proceso de sedimentación en agua (análisis granulométrico por vía húmeda) en suelos de grano fino.

Para los suelos que contienen pequeña cantidad de partículas finas que deben ser separados de las partículas gruesas y que no pueden ser separados por un proceso mecánico de tamizado, se hace un prelavado inicial del suelo para remover las partículas finas; el material que queda retenido en el tamiz durante el proceso de lavado es luego secado y tamizado. Sin embargo, la parte de suelo que pasa por el tamiz en mención es analizado por la prueba del hidrómetro, la cual está basada en la ley de Stokes y corresponde básicamente a partículas arcillosas. (Asensios e Izarra. 2021. p. 46)

b. MTC E 114 Equivalente de Arena

Este ensayo, desarrollado por el Departamento de Carreteras de California, indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los áridos empleados en las mezclas asfálticas para pavimentación y en los suelos empleados en capas de base. El ensayo se aplica a la fracción que pasa por el tamiz número 4. Se coloca una muestra del material en estudio en un cilindro graduado transparente que contiene una solución de cloruro cálcico, glicerina y formaldehído en agua. La muestra y la solución se agitan vigorosamente de una forma normalizada. Se emplea la misma solución para impulsar el material arcilloso hacia arriba, haciéndolo salir de la muestra a medida que se llena el cilindro, introduciéndola a presión en el fondo mediante un tubo delgado. Después de un período de sedimentación de 20 min se lee en la graduación del recipiente la altura máxima de la suspensión de arcilla. A continuación, se introduce en el cilindro un disco pesado de metal que se hace bajar hasta que descansa sobre la parte superior de la arena limpia y se lee la altura de la superficie inferior del disco. Se llama equivalente de arena a la relación de la lectura correspondiente a la superficie superior de la arena a la correspondiente a la capa superior de la arcilla multiplicada por 100. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en el método AAS-HO T176. (Velázquez, s.f., p. 59)

c. MTC E 205 Gravedad específica y absorción de agregados finos

El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Portland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen. También es usado en el cálculo de vacíos en el agregado del ensayo MTC E 203.

El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial.

Se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en control de uniformidad de las características físicas. (MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016. p. 309)

Para el cálculo de los pesos específicos y la absorción en agregados gruesos se dispone de las siguientes fórmulas:

Peso específico de masa (Pe_m):

$$Pe_m = \frac{W_0}{V - V_a}$$

Donde:

Pe_m = Peso específico de masa

W_0 = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, en g.

V = Volumen del frasco en cm^3

V_a = Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua añadida al frasco.

Peso específico de masa saturado con superficie seca (Pe_{sss})

$$Pe_m = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

Peso específico aparente (Pe_a)

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100$$

Absorción (A_b)

$$A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$$

Las estimaciones de precisión de este método de ensayo están basadas en resultados del AASHTO *Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program*, con ensayos conducidos por métodos de ensayo ASTM C- 128 y AASHTO T84. La diferencia significativa entre los métodos es que el método ASTM C 128 requiere un período de saturación de 24 ± 4 horas, y el método AASHTO T 84 requiere un período de saturación de 15 a 19 horas. Esta diferencia se ha hallado que tiene un efecto insignificante sobre índices de precisión. Los datos están basados sobre el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios. Las estimaciones de precisión para densidad fueron calculadas de valores determinados para densidad relativa (gravedad específica), usando la densidad del agua a 23 °C para la conversión. (MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016. p. 312)

	Desviación estándar (1s) ^H	Rango aceptable de dos resultados (d2s)
Precisión de un solo operador		
Densidad (OD) kg/m ³	11	13
Densidad (SSD) kg/m ³	9,5	27
Densidad aparente, kg/m ³	9,5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0,011	0,032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0,0095	0,027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,0095	0,31
Absorción ^I , %	0,11	0,31
Precisión Multilaboratorio		
Densidad (OD) kg/m ³	23	64
Densidad (SSD) kg/m ³	20	56
Densidad aparente, kg/m ³	20	56
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0,023	0,066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0,020	0,056
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,020	0,056
Absorción ^C , %	0,23	0,56

Figura N° 18: Precisión para resultados del ensayo MTC E 205
Fuente: Manual de ensayos de materiales. (2016)

d. MTC E 206 Peso específico y absorción de agregados gruesos

Establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basadas en

agregados remojados en agua después de 24 horas. Este modo operativo no es aplicable para agregados ligeros.

Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción.

Mezclar la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria usando el procedimiento descrito en la ASTM C 702. Descartar todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (N° 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales. Si el agregado grueso contiene cantidades importantes de material más fino que el tamiz 4,75 mm (N° 4) (tales como tamaños N° 8 y 9 considerados en la Clasificación de la ASTM D 448), usar el tamiz 2,36 mm (N° 8) en vez del tamiz 4,75 mm (N° 4). Alternativamente, separar el material más fino que el tamiz 4,75 mm y ensayarlo de acuerdo al Modo Operativo E 205. (MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016. p. 313)

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 1/2)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 1/2)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 1/2)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 1/2)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Figura N° 19: Peso mínimo de la muestra de ensayo
Fuente: Manual de ensayos de materiales. (2016)

Para el cálculo de los pesos específicos y la absorción en agregados gruesos se dispone de las siguientes fórmulas:

Peso específico de masa (P_{e_m}):

$$Pe_m = \frac{A}{B-C} \times 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, en gramos.

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, en gramos.

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

Peso específico de masa saturada con superficie seca (P_{eSSS})

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B-C)} \times 100$$

Peso específico aparente (P_{ea})

$$P_{ea} = \frac{A}{(A-C)} \times 100$$

Absorción (A_b)

$$A_b(\%) = \frac{B-A}{A} \times 100$$

Es importante tener en cuenta la absorción de los agregados, ya que el asfalto absorbido en los vacíos permeables del agregado no estará disponible para llenar los vacíos entre las partículas del agregado. Por esta razón, el contenido de asfalto para las mezclas hechas con agregados que tienen valores de absorción altos tienden a ser significativamente más alto que aquellos hechos con agregados con valores de absorción más bajos.

e. MTC E 207 Abrasión los Ángeles

El ensayo de abrasión de Los Ángeles se emplea para medir la resistencia de los áridos al desgaste o a la abrasión'. Se carga el tambor con una cantidad fija de áridos cuya granulometría es la que más se aproxima a la que se pretende usar de 7 granulometrías normalizadas, así como un peso normalizado de esferas de acero que han de actuar como carga abrasiva. A continuación, se hace dar al tambor 500 vueltas, después de lo cual se

extrae el material y se determina el porcentaje de material que pasa por el tamiz número 12, que se define como porcentaje de desgaste.

La elevada resistencia al desgaste indicada por un bajo porcentaje de pérdidas por abrasión es una característica deseable de los áridos que han de emplearse en la construcción de pavimentos asfálticos. La maquinaria y procedimientos para la realización de este ensayo se detallan en los métodos AASHTO T96 y ASTM C131. (Velázquez, s.f., p. 60)

f. MTC E 210 Porcentaje de Caras Fracturadas

Algunas especificaciones técnicas contienen requisitos relacionados al porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas con el propósito de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para carpeta o afirmado; y dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentación.

La forma de la partícula de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación; así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, generalmente, con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre por trituración. (Minaya y Ordoñez, 2006, p.43)

g. MTC E 223 Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas

Se ha demostrado en un sin número de investigaciones, que el exceso de partículas chatas y alargadas, pueden perjudicar el comportamiento de la estructura del pavimento. La carga proveniente del tráfico puede quebrar las partículas y modificar la estructura original. Se denomina partícula chata cuando la relación ancho/espesor es mayor de 1/3; y alargada cuando la relación largo/ancho es mayor de 1/3. (Minaya y Ordoñez, 2006, p.43)

h. Contenido de Impurezas Orgánicas

Esta permite determinar el contenido de partículas de diámetro inferior a 0.5 mm que se encuentran mezcladas o adheridas a la superficie de agregados pétreos gruesos (diámetro superior a 4.75 mm). El ensayo busca eliminar del agregado grueso aquellas partículas indeseables en los pétreos como son arcilla, plástico, madera, polvo, materia orgánica, etcétera. Las partículas gruesas se lavan con agua, retirando aquellas de diámetro inferior a 0.5 mm y, al final del ensayo, se reporta el porcentaje en masa de las partículas lavadas con respecto al peso total de la muestra seca. (Bastidas y Rondón, 2020, p. 134)

i. Contenido de Sales Solubles Totales

El ensayo establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas. Una muestra de agregado se lava continuamente con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales, la presencia de éstas se detecta mediante reactivos químicos que, al tener presencia de sales, forman precipitados fácilmente visibles. (Asensios e Izarra. 2021. p. 49)

j. Adherencia

La capacidad de un agregado para absorber agua (o asfalto) es un factor importante que debe ser cuantificado en el diseño de mezclas asfálticas. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial, disminuyendo la cantidad de asfalto para ligar las demás partículas de agregado. Por ello, un agregado más poroso requiere cantidades mayores de asfalto de las que requiere un agregado con menos porosidad.

Los agregados usados en construcción de carreteras se obtienen del abastecimiento de rocas naturales locales. Las rocas naturales son clasificadas geológicamente en tres grupos dependiendo de su origen: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Otro tipo de agregados usados en

mezclas asfálticas en caliente son los agregados livianos, producto de arcillas calentadas a temperaturas muy altas, y escorias de altos hornos. Estos dos agregados proporcionan buena resistencia al patinaje cuando se usan en mezclas asfálticas en caliente.

En la siguiente figura se resumen propiedades deseables de rocas para agregados utilizados en Mezclas Asfálticas en Caliente. (Minaya y Ordoñez, 2006. p.389-390)

Tipo de Roca	Dureza/Tenacidad	Resistencia al desprendimiento*	Textura superficial	Forma fracturada
Ignea:				
Granito	Regular	Regular	Regular	Regular
Sienita	Bueno	Regular	Regular	Regular
Diorita	Bueno	Regular	Regular	Bueno
Basalto	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Diabasa	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Gabro	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Sedimentaria:				
Caliza, dolomia	Pobre	Bueno	Bueno	Regular
Arenisca	Regular	Bueno	Bueno	Bueno
Chert	Bueno	Regular	Pobre	Bueno
Lutita	Pobre	Pobre	Regular	Regular
Metamórfica:				
Gneis	Regular	Regular	Bueno	Bueno
Esquisto	Regular	Regular	Bueno	Regular
Pizarra	Bueno	Regular	Regular	Regular
Cuarcita	Bueno	Regular	Bueno	Bueno
Mármol	Pobre	Bueno	Regular	Regular
Serpentina**	Bueno	Regular	Regular	Regular

Figura N° 20: Propiedades deseables de rocas para agregados utilizados MAC
Fuente: Minaya y Ordoñez. (2006)

k. MTC E 220 Riedel Weber

La arena que forma parte de una mezcla asfáltica debe tener propiedades químicas adecuadas que permitan la elaboración de una mezcla uniforme, que cumpla con todos los requisitos de durabilidad; una de ellas es medir la adhesividad de los ligantes bituminosos respecto de una arena, natural o de machaqueo, cuando la mezcla árido-ligante se somete a la acción de soluciones de carbonato de sodio a concentraciones crecientes. (Méndez y Ordoñez, 2006. p. 396)

Evalúa la adherencia entre un ligante asfáltico y la fracción de arena (natural o de trituración) de la mezcla asfáltica cuando esta se sumerge en una solución de carbonato sódico. El resultado del ensayo se expresa

como índice de adhesividad Riedel Weber, el cual denota el número correspondiente a la menor de las concentraciones de carbonato sódico que se necesita utilizar para generar un desprendimiento total del ligante asfáltico de la superficie de la arena. (Rondón y Reyes. 2016. p. 42)

l. MTC E 209 Durabilidad

Es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino. El ensayo se realiza exponiendo una muestra de agregado a ciclos alternativos de baño de inmersión en una solución de sulfato de sodio o magnesio y secado en horno. Una inmersión y un secado se consideran un ciclo de durabilidad. Durante la fase de secado, las sales precipitan en los vacíos del agregado. En la reinmersión las sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expansión internas que simulan las fuerzas de expansión del agua congelada. El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida de peso sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de 10 a 20% para cinco ciclos de inmersión-secado. (Minaya y Ordoñez, 2006, p. 42)

m. Ensayo Marshall

El método Marshall tiene como finalidad fundamental encontrar la combinación adecuada de agregados minerales y cemento asfáltico, que permita brindarle a la mezcla asfáltica resultante una serie de características físicas y de resistencia que se establecen tanto en los requisitos contractuales de calidad, como en el diseño de la mezcla asfáltica. (Cervantes y Sequeira, 2014, p. 1)

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos arriba de 38 mm (1.5”), y está pensado

para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 ½”) de alto y 102 mm (4”) de diámetro; se preparan mediante un procedimiento para calentar, combinar y compactar mezclas de asfalto- agregado (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad-análisis de vacíos, y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados; cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos. (Garnica, Delgado y Sandoval, 2005, p. 14)

2.3 Definición de términos básicos

Pavimento: El pavimento es una superestructura que está constituida por una capa de revestimiento, capa base, sub base y suelo compactado según estudio geotécnico (UMSS 2004, cap. 1, pág. 3).

Mezcla asfáltica en caliente: La mezcla asfáltica en caliente es una combinación de agregados generalmente (también se considera las escorias siderúrgicas), asfalto y aire que será empleado en las carreteras (Guía de Buenas Prácticas para el Control de Calidad de Mezclas Asfálticas y Aplicaciones Bituminosas, cap. 1 pág. 6)

Calidad de los agregados: Los agregados son partículas minerales para la elaboración de bases, sub bases y relleno de carreteras. La calidad de los agregados debe satisfacer una serie de requerimientos según una rigurosa especificación ya sea su granulometría, dureza, índice de vacíos y porcentaje de vacíos los cuales serán necesarios para determinar la calidad de los agregados

Peso específico de los agregados: El peso específico también conocido como densidad relativa de los agregados es la relación del peso del material con respecto al volumen absoluto que este ocupa en el desplazamiento de agua (GCC, 2020, pág. 1).

Absorción de los agregados: La absorción de los agregados es el aumento de la masa o peso del agregado debido a la introducción de partículas de agua en los poros vacíos del material granular. (Waddell J, & Dobrowolsky J, 2001, Editorial McGraw-Hill, México)

Granulometría de los agregados: La granulometría de los agregados es la separación según el tamaño de las partículas del material del agregado que es determinado por el análisis de los tamices por los cuales según el tamaño del agregado se clasificaran por números de tamices en el cual son retenidos (GCC, 2020, pág. 1).

Resistencia a la fatiga: Capacidad de soportar los esfuerzos provocados por el tránsito.

Resistencia al deslizamiento: Capacidad de la superficie del pavimento cuando se encuentra mojado, para ofrecer resistencia al deslizamiento.

HMA: Mezcla asfáltica en caliente por sus siglas en inglés *Hot Mix Asphalt*

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La calidad de los agregados, incide en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) El peso específico y la absorción inciden en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas.
- b) La angularidad y textura de los agregados inciden en la estabilidad y flexibilidad de las mezclas asfálticas.
- c) La granulometría de los agregados incide en la durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento de las mezclas asfálticas.

3.2 Variables

Variable independiente

Calidad de los agregados

La calidad de los agregados en la construcción de las carreteras debe cumplir con requisitos de granulometría y especificaciones técnicas, que garanticen un buen comportamiento durante su periodo de vida. (Minaya & Ordoñez, 2006)

Variable dependiente

Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas

Las 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, R. 2016)

Tabla N° 8
Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Instrumentos	Herramientas
Calidad de los agregados	La calidad de los agregados en la construcción de las carreteras debe cumplir con requisitos de granulometría y especificaciones técnicas, que garanticen un buen comportamiento durante su periodo de vida	La calidad de los agregados pétreos tiene la misma importancia que los TBS y es tenida en cuenta a través de los ensayos de desgaste (Los ángeles y Micro Deval), Propiedades friccionales tomadas en cuenta con el ensayo de Pulimento acelerado, limpieza, compatibilidad con el ligante bituminoso, caras de fractura, angularidad, textura y durabilidad. Desde luego los pesos específicos y absorción son características de gran importancia en áridos y su determinación debe siempre realizarse como control de calidad de la piedra. Los agregados pétreos deben poseer una granulometría adecuada y requisitos mínimos de calidad para conformar mezclas asfálticas	Peso específico y absorción	Densidad relativa de los agregados, porcentaje de absorción	Densidad relativa recomendada de los agregados, % absorción	Artículos, tesis nacionales e internacionales, libros, normas, manuales, guías, expedientes técnicos	MTC Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013
			Angularidad y textura	Angulosidad, poros	VMA %vacíos		
			Granulometría	Tamaño máximo	TM TMN		
Propiedades mecánicas de los agregados	Las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica son resultado de la fricción y la cohesión entre los componentes. La fricción es resultado 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.	Los factores principales para determinar la estabilidad son el ángulo de fricción interna de los áridos y la viscosidad de asfalto y cementos, el contenido de asfalto debe ser suficientemente grande para proporcionar una adecuada resistencia a la fatiga y durabilidad, y al mismo tiempo debe ser suficientemente pequeño para minimizar el ahuellamiento, la exudación y la inestabilidad estructural. La superficie de rodadura debe reducir la posibilidad que la llanta se deslice sobre ella, sobre todo en épocas de lluvia, esto se define como resistencia al deslizamiento. Mezclas porosas fueron pensadas para evitar el	Estabilidad	porcentaje de caras fracturadas	Optimo contenido de asfalto		MTC manual de ensayos de materiales EM-2013
			Durabilidad	Resistencia a los sulfatos	Optimo contenido de asfalto		

Hydroplaning y deprimir el agua inmediatamente se encuentre en la superficie.

Desde el diseño es importante prestar atención a la trabajabilidad de las mezclas a través, por ejemplo, del cálculo del Índice de Compactibilidad ya sea mediante el Marshall o con el Compactador Giratorio Superpave.

El grado de impermeabilidad se determina por el tamaño de los vacíos, Todas las mezclas tienen un cierto grado de impermeabilidad por lo que se debe cumplir con el rango que se indique en las especificaciones.

El asfalto es un material de particular interés para el ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de los áridos con las que se combina usualmente.

Impermeabilidad

granulometría

Optimo contenido de asfalto

Flexibilidad

Densidad

TM
TMN

Trabajabilidad

Forma de los agregados

Porcentaje de vacíos

Resistencia a la fatiga

Círculo de arena

Porcentaje de vacíos

Resistencia al deslizamiento

Porosidad

Microtextura,
Macrotextura

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo de la investigación

El tipo de investigación de esta tesis es descriptivo – correlacional, debido a que se estudiará la incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimento, describiendo las características de los agregados como el peso específico, absorción, la angularidad, textura, y la granulometría, y su correlación con las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

4.2 Nivel de la investigación

Esta investigación es descriptiva - explicativa, ya que está orientada a describir como la calidad de los agregados inciden en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. Así también, es una investigación explicativa, porque se describen los resultados obtenidos de la incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas.

4.3 Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación es no experimental, transversal y retrospectiva, porque se utilizaron los resultados de investigaciones anteriores.

4.4 Población y muestra

La población de estudio son las fuentes bibliográficas recopiladas, tesis y artículos

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación del año 2022 se usará la técnica de recolección de información (investigaciones, libros, manuales, artículos científicos y datos experimentales) de los años pasados (periodo 2006 - 2021), relacionados con el tema de la incidencia del peso específico, la absorción, la angularidad, la textura y la granulometría en las mezclas asfálticas para pavimentos que servirán para la sustentación de la presente tesis.

El instrumento de recolección de datos fueron las fichas donde se registrará todos los datos concernientes a caracterización de materiales (agregado grueso, agregado fino), así como la caracterización del asfalto.

4.5.1 Tipos de técnicas e instrumentos

Se basa en la recopilación de fuentes bibliográficas más recientes, basándose en libros, tesis, manuales, guías, más recientes afines al tema de estudio.

4.5.2 Procedimientos para la recolección de datos

El procedimiento a seguir es en la búsqueda de material bibliográfico y autores especializados en el tema de investigación, ya que serán para un apoyo técnico para la sustancia de la presente tesis.

4.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Se basa en la recopilación de fuentes bibliográficas más recientes, basándose en tesis, manuales, guías, más recientes afines al tema de estudio, para procesarlas, clasificarlas y analizarlas. La información obtenida se presentará en cuadros y gráficos.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Presentación de resultados

Para el desarrollo de esta investigación se revisaron una gran variedad de documentos, entre tesis y artículos relacionados con el tema de estudio, se utilizaron 10 tesis en el ámbito nacional, estas tesis abordan la importancia, y la calidad de los agregados en canteras específicas para su uso en mezclas asfálticas, otras realizan un diseño de mezclas asfálticas para la construcción de nuevas carreteras y/o rehabilitación, cabe resaltar que todas estas tesis mencionadas emplearon la metodología Marshall para mezclas asfálticas en caliente.

Se optaron por estudiar estas tesis, debido a que contaban con información necesaria para poder desarrollar esta investigación, puesto que actualmente la mayoría de tesis relacionadas al estudio de las mezclas asfálticas para pavimentos flexibles estudian la adición de algún elemento a la mezcla asfáltica como PET, entre otros, así como el uso de materiales reciclados como carpetas asfálticas, caucho (en polvo, triturado, granular),

Tabla N° 9
Recopilación de investigaciones nacionales

N°	Fuente	Peso específico (g/cm ³)		Absorción (%)		Angularidad (%)	Partículas chatas y alargadas (%)	Caras fracturadas (&)	Granulometría (TM Y TMN)
		AF	AG	AF	AG				
1	Arellano & Cáceres (2018)	2.70	2.67	0.53	0.91	44.54	5.60	85/50	TM=1/2" TMN= 1/4"
2	Reyes, G. (2020)	2.52	2.54	0.75	0.96	-	5.10	92.7/86.4	MAC - 2
3	Ramos, U. (2015)	2.51	2.46	0.51	0.95	-	0.45	-	TM=1" TMN= 1/4"
4	Reynoso & Zelaya	2.63	2.65	0.39	1.40	-	-	-	TMN= 2"
5	Melendez, R. (2019)	2.65	2.67	1.26	0.51	-	10.10	-	TMN= 1 1/2"
6	Borja, F. (2014)	2.75	2.75	0.64	0.48	45.50	6.60	98	TMN= 1/2"
7	Quispe & Portugal (2015)	2.69	2.79	0.73	0.76	-	6.00	85	TMN= 1 1/2"
8	De la Cruz & Porras (2015)	2.70	2.67	0.53	0.91	-	5.60	100/100	TMN= 1/2"
9	Aguilar, D. (2019)	2.70	2.75	1.28	0.66	44.50	7.00	85/51	TMN= 1"
10	Ramirez, M. (2015)	2.74	2.71	0.67	1.14	39.00	-	100/100	TMN= 1/2"

Fuente: Elaboración propia

De igual manera que el estudio de las tesis nacionales, se recopilaron tesis internacionales, las cuales abordan la importancia de la calidad de los agregados en las mezclas asfálticas, realizando el estudio de los agregados de canteras, carreteras y también el comportamiento de los agregados en contacto con el asfalto. A continuación, en la tabla N° 10 se muestra la recopilación de información de tesis internacionales.

Tabla N° 10
Recopilación de investigaciones internacionales

N°	Fuente	Peso específico (g/cm ³)		Absorción (%)		Angularidad (%)	Partículas chatas y alargadas (%)	Caras fracturadas (&)	Granulometría (TM Y TMN)
		AF	AG	AF	AG				
1	Benavides, M. (2016)	2.48	2.67	4.76	2.02	-	-	-	TM=1/2" TMN= 3/8"
2	Cortez, Guzman y Reyes	2.46	2.78	1.50	1.30	-	8.04	-	TM= 1/2"
3	Peralta, J. (2021)	2.51	2.46	0.51	0.95	-	9.7, 4.4, 6	100 - 92.2 - 99.1	TM=1" TMN= 1/4"
4	Gracia, C y Pardo, S. (2012)	2.72	2.73	2.25	1.03	-	9	84	TM=1/2" TMN= 3/8"
5	Leon, P.(2019)	2.72	2.62	4.82	2.10	-	14.00	94.32	TM=1/2" TMN= 3/8"
6	Arévalo y Rodríguez. (2021)	1.96	2.65	15.00	1.40		8.4 y 9.6	7.67/49.33	TM=1" TMN= 3/4"
		1.82	2.78	22.00	1.93		9 y 9.4	10/8.33	TM=1" TMN= 3/4"
		1.85	2.64	19.00	1.91		10.8 y 19.8	12.67/17	TM=1" TMN= 3/4"
		1.77	2.66	22.00	3.17		9.3 y 9.9	12.6/16.9	TM=3/4" TMN= 1/2"
7	Velasco, L. (2016)	-	-	-	-	100/100	-	-	-
8	Acevedo, N. (2021)	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Darquea, F. (2017)	2.73	2.70	2.78	1.35				TM=3/4" TMN= 1/2"
10	Gómez, J y Solano D. (2016)	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Mendoza, M. (2009).	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la presente investigación se analizaron siete propiedades mecánicas las cuales se ven influenciadas directamente por el peso específico, absorción y principalmente la gradación de los agregados en las mezclas asfálticas, lo cual esto repercute en casi todas las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente como la estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, flexibilidad, trabajabilidad, resistencia a fatiga, resistencia al deslizamiento. Además, estas propiedades mecánicas serán medidas a través de sus indicadores.

5.1.1 Calidad de los agregados.

Los agregados deben ser evaluados mediante ensayos que determinan sus características y propiedades para ser comparados con las normas establecidas y si logran los requisitos para ser clasificados en materiales baja, media y alta calidad. Donde la determinación de la calidad de los agregados será un factor importante para el correcto diseño de carreteras, edificios, puentes, hidroeléctricas entre otros.

5.1.2 Peso específico y absorción de los agregados

El peso específico es la energía de la unidad sobre una determinada masa medido por N/m^3 incide en la durabilidad ya que la presión que debe soportar las aristas es alta, por lo cual deben ser duros y resistentes a fin de evitar que el asfalto se independice del agregado. La absorción de los agregados está relacionada con la impermeabilidad debido a que la absorción dependerá del porcentaje de vacíos de aire contenido en los agregados y esta se reflejará en la mezcla compactada.

Según Arellano, L. y Cáceres, C, quienes realizan el estudio de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas empleadas a más de 3000 msnm, manifiestan que aquellos agregados de origen coluvial, tienen la posibilidad de que estos manifiesten cambios en sus propiedades, lo cual afecta el diseño teórico de la MAC. Esto debido al clima agreste en zonas de altitud, donde los agregados están expuestos a cambios de temperatura ya sean por altas radiaciones y o heladas, haciendo que las características de los agregados se modifiquen, es por ello, que los autores recomiendan realizar de manera periódica los ensayos de calidad de los materiales especificados en la normativa Ensayo de Materiales (EM-2016), sobre todo los ensayos de granulometría, equivalente de arena y peso específico. Sobre todo, este último para poder verificar que el porcentaje de absorción de los agregados sea el requerido por el diseño, por tal motivo Arellano y Cáceres proponen que estos ensayos periódicos sean “cada 200 m³ de producción de agregados hasta obtener valores constantes.” Asimismo, los agregados gruesos y finos que ya pasaron por el proceso de gradación, con las granulometrías adecuadas deben ser cubiertas por algún material aislante (lonas, plásticos) a fin de que las condiciones climáticas de la zona no afecten a los agregados.

Meléndez R, Realiza el estudio de las propiedades físicas de los agregados de la cantera de Molinos - San Rafael - Alcas - Pozuzo para su posible uso en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente según la metodología Marshall, para los cual realiza los ensayos de calidad establecidos por el MTC, concluyendo que la densidad relativa del fino es de 2.74, esta densidad define que tan poroso esta la materia mientras mayor sea su densidad aparente menor será los huecos que presente el agregado, asimismo, si la absorción del agregado grueso no supera el porcentaje mínimo (1% según MTC), se recomienda que se realice una mezcla con otro tipo de material para poder superar el porcentaje mínimo. Si en caso el agregado no alcanza el porcentaje mínimo, se recomienda realizar ensayos para determinar en qué manera repercute en la mezcla asfáltica.

De acuerdo con Peralta, J. (2021), quien realiza el estudio de la incidencia de la mineralogía de agregados pétreos sobre la adhesividad con asfalto, realiza el estudio con materiales de tres canteras diferentes (El Cajón, El pedregal, e Incomineria, todas en Colombia), para su uso en mezclas asfálticas según las especificaciones de INVÍAS del año 2013, del análisis de absorción concluye que mientras menor sea la absorción del agregado , el potencial del asfalto efectivo aumenta para poder formar la película ligante sobre la superficie, lo que se manifiesta en un mejor desempeño en términos de grado de cobertura. Tal como se muestra en la figura 21, los valores de los ensayos requeridos para los agregados.

Norma INVÍAS, 2013	Valor especificado	Valor obtenido									
		El Cajón Material		El Pedregal Material			Incomineria Material				
		1	2	1	2	3	1	2	3		
E-218	Desgaste en máquina de Los Angeles (%)	Máximo 25%	26,36		27,16				43,04		
E-133	Equivalente de arena	Mínimo 50%		87		51	67			64	89
E-235	Valor de azul de metileno	Máximo 10		0,63		0,43	0,64			0,85	1,05
E-230	Partículas planas y alargadas, relación 5:1	Máximo 10%	9,66*		4,35*				1,02*	6,03*	
E-227	Caras fracturadas	Mínimo 85%		100		93				99	
E-239	Angularidad de la fracción fina, método A	Mínimo 45%		47,42		46,93	48,26			50,20	41,06
E-757	Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia de agua hirviendo	Reportar %		Plenamente cubierto		Plenamente cubierto				Plenamente cubierto	
E-774	Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos, método Riedel Weber	Índice mín. 4		7-10		6-10	7-10			7-10	6-10
E-740	Adherencia en bandeja (%)			34		18				28	
	Material no aplica										
	Valor se encuentra por fuera de la especificación										

Figura N° 21: Especificaciones de los agregados según INVÍAS 2013

Fuente: Peralta, J. (2021)

Los agregados gruesos de la cantera el Cajón, El Pedregal y la Incomineria contienen 3.5%, 1.2% y 4.7% respectivamente. Se puede reducir su influencia en la mezcla global debido a la absorción de los agregados finos (1.6%)

León P. llevó a cabo el estudio de la caracterización de los agregados de dos minas para el diseño de mezclas asfálticas en caliente bajo las especificaciones del Ministerio de Transportes y Obras Públicas de Ecuador, estas son las minas Guayllabamba (Rio Guayllabamba) y Pintag, las cuales luego de los ensayos respectivos demostrar ser aptos para la elaboración de mezclas asfálticas, concluyendo que a mayor grado de absorción que posean los agregados se requerirá mayor cantidad de asfalto como ocurre con el agregado fino de la mina Pintag que obtuvo un porcentaje de absorción de 6.06% a diferencia del 4.82% de la mina Guayllabamba, en la siguiente tabla se muestra los porcentajes de los agregados de las minas en cuestión.

Tabla N° 11

Mezcla asfáltica	Guayllabamba %	Pintag %
Agregado Grueso	8.00	20.00
Agregado Intermedio	50.00	40.00
Agregado Fino	42.00	40.00
Porcentaje de Asfalto	6.56	6.85

Porcentajes de agregados y asfaltos

Fuente: León, P. (2019)

De la tabla 11 cabe resaltar que la densidad de la cantera Guayllabamba es de 2.33 gr/cm³ y de la cantera Pintag de 2.12. gr/cm³.

El proceso para aumentar la resistencia a la fatiga es el de obtener una aceptable estabilidad que no sea muy rígido o flexible. Por lo que será necesario el uso de agregados con una alta densidad que eviten un alto porcentaje de vacíos en la mezcla para obtener la estabilidad deseada ya que la estabilidad dependerá del porcentaje de vacíos de la mezcla. Por lo tanto, la

resistencia a la fatiga está relacionado con el peso específico de los agregados.

La impermeabilidad es la característica que no permite el flujo de agua. Por lo que para incrementar la impermeabilidad en una pavimentación se requiere de agregados que contengan un bajo porcentaje de vacíos, en otras palabras, se debe utilizar agregados que retenga una mayor cantidad de peso por cada unidad de volumen, lo cual resulta en una mezcla asfáltica densa con una baja permeabilidad. Por lo tanto, el peso específico es directamente proporcional a la impermeabilidad.

5.1.3 Angularidad y textura

León, P. menciona que a partir del estabilidad y flujo está relacionada con la textura y forma de los agregados, puesto que mientras más caras fracturadas exista la estabilidad aumentara, caso contrario la carpeta de rodadura será susceptible a deformaciones, concluyendo que mientras se obtengan valores de estabilidad alta nos indicara que las mezclas serán más frágiles las cuales son recomendables para carreteras con tráfico medios, mientras que las mezclas con estabilidades más bajas suelen presentar menores fisuras por lo que son recomendables para vías con un tráfico alto.

Tabla N° 12
Porcentaje de vacíos de aire en la Mina Pintag y Guayllabamba

Mina	Vacíos de Aire
Pintag	4.10
Guayllabamba	4.26

Fuente: León, P. (2019)

Tabla N° 13
Porcentaje de VAM en la Mina Pintag y Guayllamba

Mina	Vacíos Agregado Mineral (VAM)
Pintag	14.29
Guayllabamba	4.26

Fuente: León, P. (2019)

P. Liu et al., (2017) tenían como objetivo de su estudio, investigar el efecto de la morfología de los agregados (con enfoque en la angularidad de los agregados) sobre la respuesta mecánica y el comportamiento de daño de la mezcla asfáltica. En base a diferentes modelos y características definidas previamente, crearon modelos tridimensionales de elementos finitos con diferentes angularidades en los agregados y realizaron una simulación de una prueba de compresión uniaxial. En sus resultados encontraron que la angularidad del agregado influye significativamente en la capacidad de carga de la mezcla asfáltica. Las diferentes angulaciones de los agregados tienen un pequeño efecto sobre la energía de disipación por fluencia de las mezclas de asfalto a una temperatura definida. Generalmente, la deformación por fluencia en la masilla asfáltica, disminuye si se reduce la angularidad del agregado. También, encontraron que una menor angularidad del agregado, provoca concentraciones de tensión más bajas y, por lo tanto, menos daño y la iniciación de grietas en las interfaces masilla-agregado, lo que a su vez conduce a una disminución de la liberación de energía de disipación del daño. Finalmente concluyen que la angularidad del agregado afecta significativamente, las respuestas mecánicas de la mezcla asfáltica.

Cui, Xiao, Yan, Li, & Wu, 2018 investigaron las características morfológicas de los áridos y su influencia en el comportamiento de la mezcla asfáltica, identificando el efecto de una sola variable sobre la adhesión del agregado y las propiedades. Los resultados mostraron que existen relaciones lineales estrechas entre la angularidad o esfericidad del agregado, y las propiedades mecánicas, como la estabilidad de Marshall y la resistencia a la flexión. Finalmente concluyeron que comprender con precisión las características morfológicas de los agregados es de gran importancia para la etapa inicial del diseño de pavimento.

Existe una correlación directa entre la estabilidad y la densidad que se puede evidenciar en las líneas de tendencia lineal que se obtuvieron en los resultados y análisis, a mayor densidad, los valores de estabilidad se ven incrementados. Lo que nos lleva a concluir que a mayor % de partículas redondeadas en la mezcla, menor estabilidad y, además, menor densidad esto debido al incremento en el contenido de vacíos generado por el aumento de

partículas redondeadas. En general, a medida que se van aumentando los agregados de tamaño redondeados, la densidad tiende a disminuir. y el porcentaje de vacíos está directamente relacionado El porcentaje de vacíos se encuentra relacionado a las propiedades de durabilidad, trabajabilidad y resistencia a la fatiga e impermeabilidad.

Acevedo, N. realiza el estudio de la influencia de la forma de los agregados en la estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica empleando el equipo Marshall, tomando como referencia el uso de agregados de origen aluvial que poseen una forma redondeada, para lo cual reemplaza parte de los agregados por esferas de vidrio, debido a su nula capacidad de absorción, superficie lisa, inerte y además con cierta resistencia. Fabricando 25 briquetas cada una con una misma granulometría, en donde las esferas de vidrio reemplazaron el agregado en algunos de los tamaños de la mezcla. Los tamaños seleccionados para el reemplazo fueron 25mm, 22mm, 16mm, 11mm, 2.5mm y los reemplazos se realizaron en tres grupos principales, el primer grupo consistió en reemplazar un solo tamaño en cada briqueta, en el segundo grupo se reemplazaron dos tamaños simultáneamente en cada probeta y finalmente, en el tercer grupo, se reemplazaron simultáneamente, tres tamaños en cada probeta. Concluyendo que En cuanto al flujo, en el primer grupo de probetas (donde se reemplaza un solo tamaño), todas las probetas sobrepasaron el valor de la probeta sin reemplazos, en el segundo grupo (reemplazo de dos tamaños), la mayoría de las probetas también sobrepasaron el valor del flujo de la probeta sin reemplazo, siendo mezclas con buenos y aceptables valores de flujo, finalmente en el tercer grupo, contrario a los dos comportamientos anteriores, la mayoría de probetas no sobrepaso el valor del flujo de la probeta R0, lo que evidencia como a medida que se va aumentando la cantidad de material con forma redondeada en la mezcla, va afectando su comportamiento paulatinamente y se obtiene una mezcla cada vez más rígida, esta distribución rectifica que existe el límite en donde es aceptable utilizar un porcentaje de partículas redondeadas en la mezcla y no afectara de gran manera el comportamiento del pavimento.

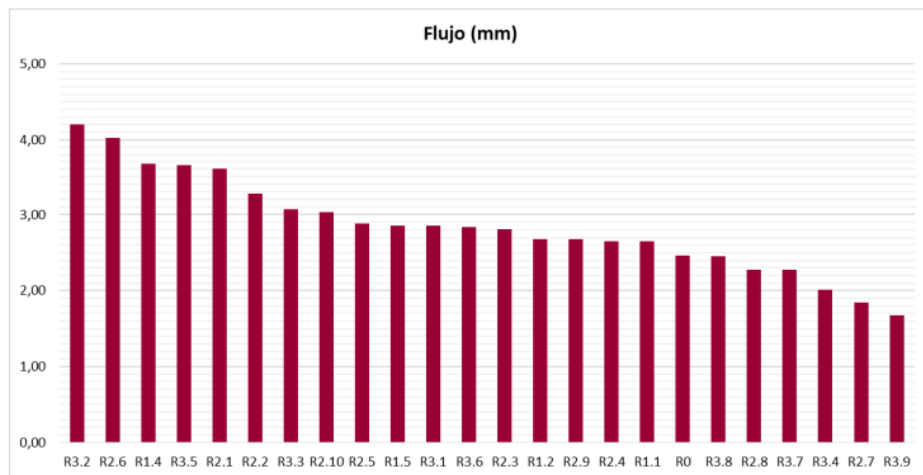


Figura N° 22: Flujo de probetas ensayadas
Fuente: Acebedo, N. (2021)

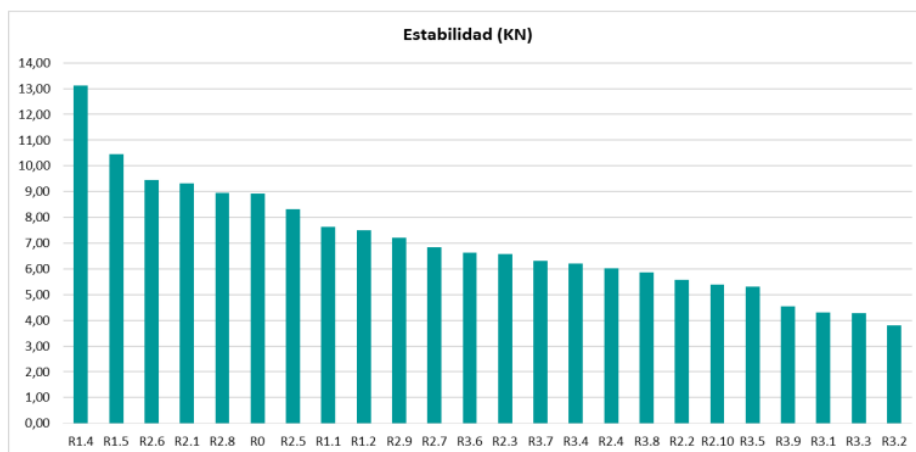


Figura N° 23: Estabilidad probetas ensayadas
Fuente: Acebedo, N. (2021)

De las probetas ensayadas se puede evidenciar como a mayor cantidad de materiales redondeados, menor el valor del flujo y la estabilidad que se obtiene de cada probeta, por lo tanto, se tendrán mezclas cada vez más rígidas y con baja resistencia a la fatiga, cuando aumentamos el porcentaje de material redondeado, esto debido al aumento en el porcentaje de vacíos por la forma del material, lo que nos lleva a envejecimiento temprano, agrietamientos por fatiga y ahuellamientos en el pavimento.

Mendoza, M. realiza el estudio sobre la incidencia de los materiales de origen calizo y basáltico en mezclas asfálticas bajo el método Marshall, debido a que los materiales que se requieren en un proyecto de carreteras no siempre pueden disponer con el tipo de material que se necesite o se desee debido a la

accesibilidad, el costo de transporte entre otros, por lo que se debe optar por utilizar materiales de la zona o cercanas al proyecto, es así que el autor plantea el estudio debido a la mayor representatividad de materiales calizos y basálticos en Guatemala. Realizando la caracterización de los ensayos de calidad respectivos de acuerdo a las normas ASTM y AASHTO, así como la elaboración de briquetas y su posterior toma de datos. Concluyendo que el agregado de origen basáltico tiene una alta afinidad al cemento asfáltico básicamente por la textura superficial que posee siendo está relativamente áspera, así como su alto contenido de sílice lo que facilita la adherencia formando una película uniforme de asfalto con una afinidad 20% más que los agregados de origen calizo. Asimismo, el calizo que posee una textura superficial relativamente lisa y un alto contenido de carbonato de calcio dificultan la adherencia del cemento asfáltico en las partículas de los agregados.

En relación a la flexibilidad esto dependerá de la estabilidad debido a que un valor muy alto de la estabilidad resultará en un pavimento rígido y por lo tanto menos flexible. Pero la estabilidad dependerá de la fricción y cohesión interna de las partículas de los agregados, asimismo la textura y la geometría de los agregados específicamente las partículas afectan la trabajabilidad durante su ocupación, así como la energía requerida para lograr su compactación para la densidad optima y resistencia de la estructura durante su vida útil.

5.1.4 Granulometría

Según Ramos, U. quien aborda el estudio de agregado de la cantera Condurare para determinar la influencia del tamaño máximo del agregado grueso en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, planteando un diseño que brindara durabilidad, permeabilidad, resistencia a las cargas de tráfico y a la climatología particular de Puno. Para ello realizan los ensayos necesarios para determinar la calidad de los agregados grueso y finos, especificados en la norma EG-2013, de igual manera realizan la caracterización de asfalto a utilizar. Determina el porcentaje óptimo de asfalto a utilizar según el tamaño máximo del agregado tal como se muestra en la tabla 14, asimismo mediante el ensayo de flujo y estabilidad Marshall determina el porcentaje de vacíos de

la mezcla asfáltica relación a los diferentes tamaños máximos de agregado como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 14
Valores de Porcentaje Óptimo de Asfalto

Tamaño máximo nominal	Cantera Condorire		Canter a Vilque	Fille r	PEN 120-150
	Agr. Grueso	Agr. Fino	Agr. Fino	Cal Hidr.	% Opt. Asf.
	%	Ch. %	Nat. %	%	
Tamaño máximo nominal de 1"	45.96	27.27	16.01	4.36	6.40
Tamaño máximo nominal de 3/4"	36.09	34.46	18.55	4.00	6.90
Tamaño máximo nominal de 1/2"	36.02	34.38	18.51	3.99	7.10
Tamaño máximo nominal de 3/8"	21.18	57.66	9.39	4.37	7.40

Fuente: Ramos, U. (2015)

El porcentaje de finos aumenta mientras que el tamaño máximo nominal se reduce, asimismo el % óptimo de asfalto aumenta en relación a los finos.

Tabla N° 15
Resultados del ensayo de Flujo y estabilidad Marshall

Tamaño máximo nominal	Estabili dad (E)	Fluencia (F)	P. E.		V. M. A.	V. F. A.
			A. BULK	(Va)		
Tamaño máximo nominal de 1"	1300	4.85	2.2	4.65	14.55	69.3
Tamaño máximo nominal de 3/4"	1230	4.65	2.195	3.4	15.1	77.8
Tamaño máximo nominal de 1/2"	1110	4.80	3.35	3.35	15.38	80.6
Tamaño máximo nominal de 3/8"	995	4.30	2.185	2.65	18.88	83.3

Fuente: Ramos, U. (2015)

Es así que Ramos, U. (2015) concluye que la variación del porcentaje de vacíos y densidad de la mezcla asfáltica en caliente varía según el tamaño máximo del agregado grueso de igual manera que incide en la estabilidad y fluencia de cada mezcla asfáltica, finalmente afirma que el diseño de una mezcla asfáltica en caliente comienza con la selección del cemento asfáltico, la estructura del agregado y las proporciones del agregado, a fin de que estos queden cubiertos por una película delgada y uniforme de asfalto para lograr un óptimo desempeño.

Borja, F. en el 2014 realiza la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del pavimento flexible de la carretera Cañete - Lunahuaná, la cual empleo los agregados minerales de la cantera Rio Cañete la cual se encuentra dentro del área en donde se ejecutó la red vial, la normativa para realizar los ensayos de los agregados finos y gruesos para ser usados en mezclas asfálticas de dicha cantera están basados en la norma EG 2010, la cual no difiere en lo absoluto con la normativa EG 2013, en cuanto se refiere a valores máximos y mínimos permitidos. Estos resultados se muestran en la figura 24.

Ensayos	Norma	Especificaciones	Resultado	Cumplimiento
Durabilidad(al sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máximo	0,79%	Cumple
Abrasión de los ángeles	MTC E 207	40% máximo	17,30%	Cumple
adherencia	MTC E 517	95%	96%	Cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% mínimo	48%	Cumple
Partículas chatas y alargadas	MTC 4791	10% máximo	6,60%	Cumple
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	98%	Cumple
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máximo	0,08%	Cumple
Equivalente de arena	MTC E 114	60	79%	Cumple
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	45%	Cumple
Índice de plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	N.P	Cumple
Índice de plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4 máx.	1%	Cumple

Figura N° 24: Resultados de las propiedades de los agregados para carpeta asfáltica
Fuente: Borja, F. (2014)

Esta figura demuestra que los valores obtenidos en los ensayos para de los agregados de la cantera Rio Cañete si cumplen con la normativa, por lo que estos si pueden ser empleados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, de esta amenera Borja afirma que las propiedades físicas y mecánicas del pavimento flexible de la carretera Cañete - Lunahuaná

dependen de la calidad y resistencia de sus agregados, que para este caso los agregados son de calidad y resistentes a fuerzas externas.

Arévalo, J. y Rodríguez, J. En la tesis titulada Diseño de una mezcla asfáltica permeable con agregados minerales de la Zona, tiene como finalidad encontrar la óptima combinación de los agregados de la zona, la cual sea capaz de mantener un volumen de vacíos alto, para conseguir una impermeabilidad alta en la mezcla asfáltica en caliente, la cual sea capaz de evacuar de manera rápida el agua de las precipitaciones. Por ello realiza el estudio y caracterización de agregados provenientes de cuatro minas, estas son: Chambo, Puela, La Moya y Guammote. luego de descartar los agregados que no son aptos para usarlos en las mezclas asfálticas realiza el análisis granulométrico de las canteras restantes, en base a las franjas granulométricas propuestas por normativas extranjeras, como españolas, colombianas y chilenas, de las cuales termina empleando la franja de la normativa colombiana, puesto que esta contiene valores admisibles con los resultados obtenidos.

Abertura de tamiz		Mínimo	Esqueleto mineral	Máximo	Tolerancia de máx y mín
(in)	(mm)				
3/4	19,000	100	100	100	±4
1/2	12,700	70	87	100	±4
3/8	9,525	50	70	75	±4
Nro. 4	4,750	15	35	32	±3
Nro. 10	2,000	9	20	20	±3
Nro. 40	0,420	5	9	12	±3
Nro. 200	0,075	3	2	7	±1

Figura N° 25: Franja granulométrica INVIAS y esqueleto mineral
Fuente: Arévalo y Rodríguez. (2021)

Franja granulométrica Instituto Nacional de Vías Nomenclatura Colombia

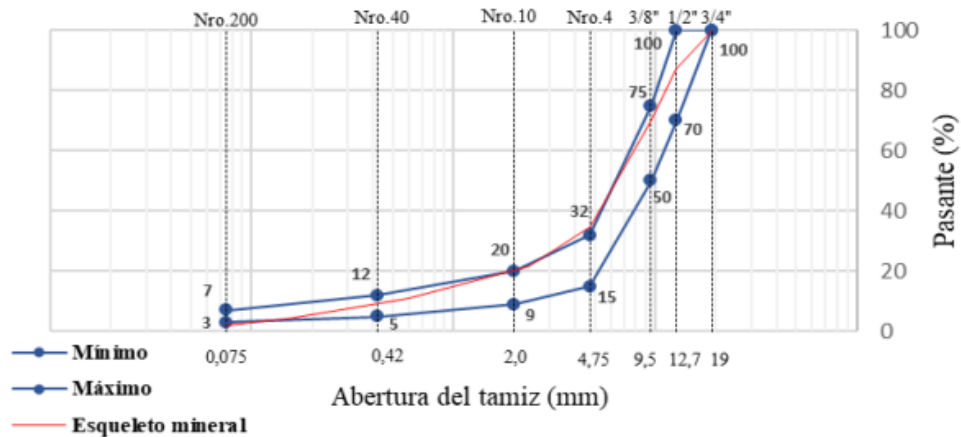


Figura N° 26: Esqueleto mineral óptimo con franja granulométrica
Fuente: Fuente: Arévalo y Rodríguez. (2021)

Finalmente, Arévalo y Rodríguez realizan la comparación del diseño de mezcla asfáltica en caliente permeable versus el diseño de una mezcla asfáltica convencional para determinar la permeabilidad de la muestra asfáltica sometieron las briquetas fueron sometidas a flujo de agua determinando su tiempo de infiltración, escorrentía y la capacidad de filtración por unidad de área expuesta, dando resultados favorables y concluyendo que es esta mezcla es permeable.

Velasco, L. realiza el estudio de la permeabilidad del Concreto asfáltico, midiendo la influencia de la granulometría y el contenido de cemento asfáltico, para lo cual elabora 54 especímenes, las cuales serán sometidas a pruebas de permeabilidad bajo diferentes condiciones de carga hidráulica basadas en la Ley de Darcy, además los diferentes especímenes poseen tres diferentes óptimos contenidos de asfalto siendo estos 4.7%, 6% y 6.3% así como nueve granulometrías diferentes, (propuestas granulométricas). El agregado pétreo o material granular que se utilizó en esta investigación son obtenidos de la planta productora de agregados para pavimentación llamada Tribasa, porque se garantiza que los agregados son de alta calidad.

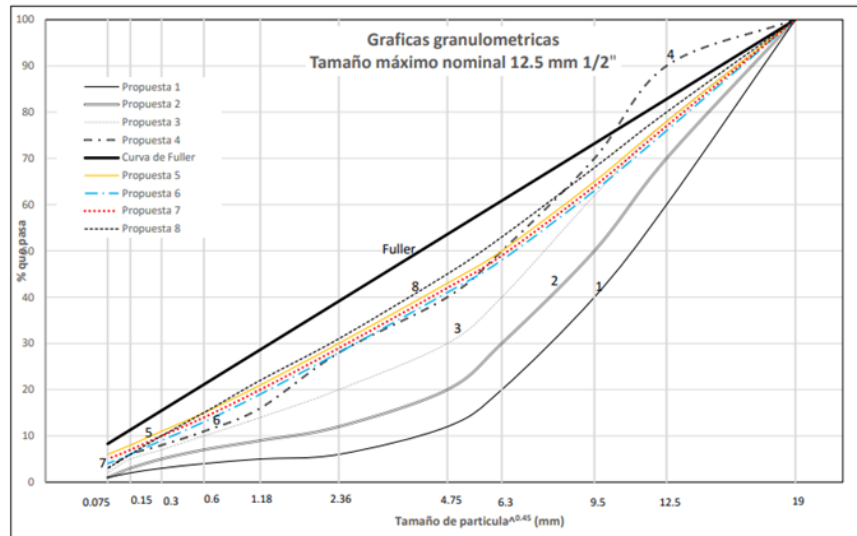


Figura N° 27: Gráficas granulométricas propuestas
Fuente: Velasco, L (2016)

Las briquetas elaboradas son sometidas al ensayo de permeabilidad concluyendo que la permeabilidad de los especímenes de concreto asfáltico tienden a disminuir a medida que aumenta el contenido de cemento asfáltico y la granulometría de la mezcla asfáltica se hace más densa, asimismo concluye que existe una relación estrecha entre el coeficiente de permeabilidad y el porcentaje que pasa la malla #4 puesto mientras la granulometría tenga menor contenido de arenas y finos en la mezcla, mayor será la permeabilidad obtenida de la mezcla asfáltica, es así que en los especímenes en los que no se observó flujo de agua contenían un porcentaje de arenas y finos mayores al 41%.

Darquea F, realiza el estudio para la determinación del grado de absorción de los materiales áridos provenientes de la canteras a orillas de los ríos Paute y Jubones y la cantera mina de la Virginia, realizando la caracterización de los materiales según la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador, para lo cual empleo el método Marshall para obtener el porcentaje óptimo de asfalto, analizando tres muestras de cada cantera, haciendo un total de nueve ensayos por el método Marshall con cuatro diferentes porcentajes de asfalto (5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%) y tres briquetas, haciendo en total 108 briquetas analizadas. En relación a la absorción de los agregados y el óptimo contenido de asfalto que estos generan en las mezclas

asfálticas el autor concluye que el material proveniente del río Paute cuenta con una absorción de 1.69% generando 6.37% de óptimo contenido de asfalto, la mina La Virgina cuenta con una absorción de 1.40% con un 6.23% de óptimo contenido de asfalto y finalmente el material de las orillas del río Jubones posee un 3.53% y un 6.93% de óptimo contenido de asfalto. Asimismo, Darquea menciona que el origen de los materiales de la cuenca del río Paute son en gran parte rocas ígneas por lo cual presentan un menor grado de porosidad lo que implica un menor porcentaje de absorción, de igual manera los agregados provenientes del río Jubones tienen una gran presencia de rocas sedimentarias por lo que su grado de absorción es mayor. Demostrándose así que el grado de absorción de los agregados es directamente proporcional al óptimo contenido de asfalto.

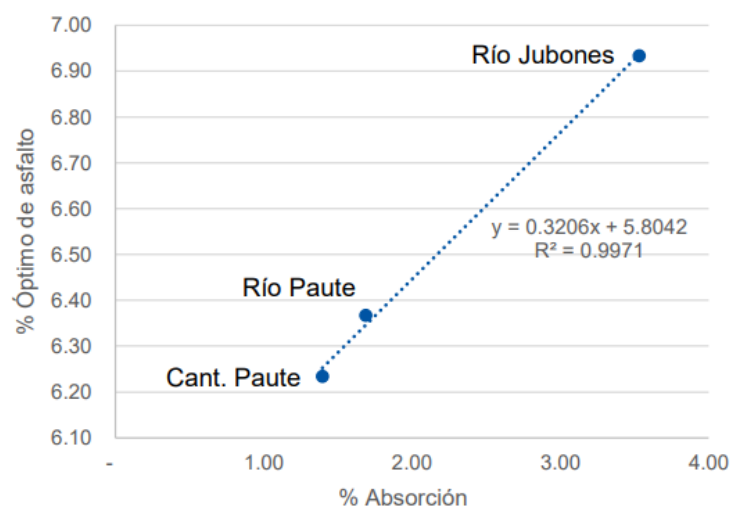


Figura N° 28: Relación %absorción y óptimo contenido de asfalto
Fuente: Darquea, F. (2017)

Gómez, J y Solano D. llevo a cabo el estudio de los agregados finos provenientes de río y peña para determinar cuál de estos tiene mejor adhesividad con el ligante asfáltico, puesto que las fallas de tipo funcional que afectan a las carreteras colombianas son debido a la pérdida de agregado y de la película ligante debido posiblemente a la falta de adhesividad y/o afinidad entre el ligante asfáltico y los agregados finos generando una falta de confort y seguridad en la vía. Para ello realiza la caracterización de los materiales pétreos provenientes del río y peña, realizando diferentes muestras de mezclas asfálticas con dosificaciones de asfalto de 40-50, 60-70 y 80-100,

que serán sometidas a pruebas para medir su adhesividad mediante el Método Riedel Weber (establecido por el Instituto Nacional de Invias - Colombia) y midiendo el efecto del agua sobre las mezclas asfálticas sueltas. Concluyendo que los agregados de río tienen un mejor comportamiento independientemente del tipo de asfalto seleccionado obteniendo un índice de adhesividad Riedel Weber de 10 en comparación a los agregados de peña que para los asfaltos 60-70 y 80-100 obtuvieron un índice de adhesividad de 3. Finalmente, a partir del ensayo del efecto de agua sobre las mezclas asfálticas sueltas los agregados procedentes de peña correspondientes a los tamices N°10 Y N°40 tienden a fracturarse durante la elaboración de la mezcla asfáltica lo que genera un mayor contenido de finos haciendo que se requiera una mayor cantidad de asfalto para garantizar el completo recubrimiento de los agregados.

Reyes G, estudia los agregados de la cantera Satipo para su uso en mezclas asfálticas, evaluando el comportamiento físico-mecánico de las mezclas asfálticas, para lo cual emplea la gradación tipo MAC - 2 que se encuentra normada en el MANUAL MTC EG, el diseño que realiza está basado en la metodología Marshal, para poder obtener el óptimo contenido de cemento asfáltico PEN 60-70 (recomendado para temperaturas de selva alta) la cual resulta 4.5% pero no cumple con las especificaciones técnicas y requerimientos de calidad, por lo que se realiza la variación de este porcentaje hasta obtener un 5.5% que si cumple con los requerimientos, sin embargo se optó por el uso del aditivo RICTO - Z debido a que la adherencia entre el cemento asfáltico empleado y los agregados no cumplían con los estándares requeridos, por lo que se realiza la comprobación con el método marshal obteniendo así un 5.8% de óptimo contenido de asfalto. así también la adherencia final obtenida es de 98% la cual cumple con las especificaciones técnicas de la norma ASTM D 1164, Prueba Lotman.

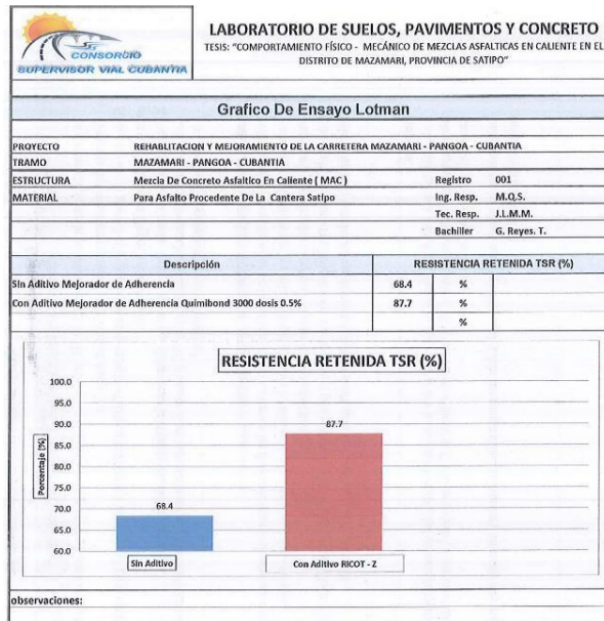


Figura N° 29: Ensayo Lotman para mezcla asfáltica con y sin aditivo
 Fuente: Reyes, G. (2020)

Finalmente Reyes concluye que la estabilidad está en relación al flujo y que está directamente relacionada a la dosificación de PEN 60/70 y por ende a las propiedades físico - mecánico de la mezcla asfáltica como la Resistencia, Dureza, Durabilidad, asimismo concluye que al incorporar el aditivo RICOT – Z, mejora la Estabilidad de una mezcla asfáltica sometida a saturación ya sea a corto plazo como también a largo plazo, ante una determinada tensión, obteniéndose los valores de esfuerzo a tensión (TSR) de 68.4 % sin aditivo y un 87.7 % con aditivo, lo cual nos indica una mejora en la adherencia de los agregados ante los efectos del agua, por ende se mejora la estabilidad retenida en un 19.3 %, cumpliendo el valor mínimo de 70.0 % establecido en el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013, mejorando así las propiedades físicas como la Durabilidad, Susceptibilidad a la Humedad y el Envejecimiento prematuro de las mezclas asfálticas en caliente.

Valdés-Vidal, Calabi-Floody, Sánchez-Alonso, & Miró, 2019 estudiaron el efecto del tipo de agregado sobre la durabilidad a la fatiga de las mezclas asfálticas, utilizando dos pruebas de fatiga, tres tipos de agregados y se ajustaron a una gradación semidensa, dos de tipo fluvial y una de cantera. Los resultados que obtuvieron, mostraron que existe una fuerte relación entre la forma y textura de los agregados finos y el comportamiento a fatiga de las

mezclas. También lograron demostrar que cuanto mayor es el espesor de la mezcla en la estructura del pavimento, más influencia tienen estas propiedades. Además, se puede demostrar como la forma y la textura del agregado fino, influyen en la capacidad de las mezclas asfálticas para disipar energía durante daños por fatiga. Finalmente, en el estudio pudieron evidenciar como la forma y textura de los agregados afectan la rigidez, el comportamiento a la fatiga y la durabilidad de las estructuras de pavimento flexible evaluadas.

Mendoza, M. realiza el estudio sobre la incidencia de los materiales de origen calizo y basáltico en mezclas asfálticas bajo el método Marshall, debido a que los materiales que requieren un proyecto de carreteras no siempre pueden disponer con el tipo de material que se necesite o se desee debido a la accesibilidad, el costo de transporte entre otros, por lo que se debe optar por utilizar materiales de la zona o cercanas al proyecto, es así que el autor plantea el estudio debido a la mayor representatividad de materiales calizos y basálticos en Guatemala. Realizando la caracterización los ensayos de calidad respectivos de acuerdo a las normas ASTM y AASHTO, así como la elaboración de briquetas y su posterior toma de datos. Concluyendo que el agregado de origen basáltico tiene una alta afinidad al cemento asfáltico básicamente por la textura superficial que posee siendo está relativamente áspera, así como su alto contenido de sílice lo que facilita la adherencia formando una película uniforme de asfalto con una afinidad 20% más que los agregados de origen calizo. Asimismo, el calizo que posee una textura superficial relativamente lisa y un alto contenido de carbonato de calcio dificultan la adherencia del cemento asfáltico en las partículas de los agregados.

De la Cruz y Porras en el 2015 realizan la evaluación de desempeño de mezclas asfálticas en calientes diseñadas por la metodología Marshall con el ensayo de la rueda cargada de Hamburgo cuyo propósito es identificar los problemas de adherencia de los agregados con el asfalto, de tal manera que se pueda determinar si la estructura mineral es deficiente, por lo que será susceptible a presentar baches o deformaciones permanentes. Para este estudio se tomó como referencia la carretera Imperial Pampas, se realizó la

caracterización de los agregados, asfalto, así como la granulometría del diseño de la mezcla asfáltica en caliente.



Figura N° 30: Curva granulométrica y Huso ASTM D 3515

Fuente: De la Cruz y Porras. (2015)

En cuanto al contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica, los autores realizaron la variación desde 5.5% hasta 7.5% con un incremento de 0.5% para encontrarlo, finalmente los autores realiza el ensayo de la rueda de Hamburgo, resultando que el diseño es desfavorable pues este no supera las 20 000 pasadas que establece el ensayo, realizando la variación de la arena chancada, la cual hacia más rígida la carpeta asfáltica, por lo que en un segundo ensayo el porcentaje de la arena chancada disminuye hasta en un 27% obteniendo con esta variación en el ensayo de rueda de Hamburgo 19 974 pasadas, mostrando un mejor performance en el segundo ensayo.

Quispe, J. y Portugal, A. realizan el diseño de un pavimento asfáltico flexible en el distrito de Paucarpata, Arequipa, como vía alterna para minimizar el tránsito vehicular debido al creciente parque automotor, empleando los agregados de la Cantera la Poderosa determinaron que está dentro de los límites de la granulometría MAC - 1 asimismo realizaron la caracterización de los ensayos de calidad requeridos por el MTC, concluyendo que en el diseño de la mezcla asfáltica el contenido óptimo del asfalto está directamente relacionado con la granulometría de la mezcla, por lo que mientras más finos contenga esta granulometría mayor será el área de la superficie total, por lo tanto la calidad del asfalto será mayor para poder cubrir uniformemente a las

partículas, asimismo a medida que el tamaño máximo del agregado aumenta el contenido optimismo de asfalto disminuye.

Aguilar, D. realiza el análisis por desempeño por Humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación MAC- 1 diseñada bajo la metodología Marshall comparándola con una mezcla asfáltica con gradación SUPERPAVE en la ciudad de Arequipa para tránsitos pesado (ESAL 10^6) empleando un cemento asfáltico PEN 85/100, realizando la carnetización de los agregados así como las características volumétricas de las mezclas asfálticas, elaborando briquetas para ser sometidas a los ensayos TSR (resistencia conservada en el Ensayo Tracción Directa o Tensión Diametral) y ensayo de la Rueda de Hamburgo. Determinado una combinación de agregados para MAC - 1 46.7% de agregado grueso y 53.3% de agregado fino y 4.70% de optimo contenido de asfalto, mientras que para la granulometría SUPERPAVE con y tamaño máximo nominal de 19 mm un 66.3% de agregado grueso con 37.3% de agregado fino y 4.39% de optimo contenido de asfalto. Concluyendo que a partir del análisis de densidad - vacío los valores de vacíos del agregado mineral de la granulometría MAC - 1 fueron superiores en 0.55% a comparación de los valores de SUPERPAVE, lo que se interpreta como una mayor impermeabilidad para la granulometría MAC-1, asimismo a partir de los ensayos de estabilidad y flujo concluyo que MAC-1 presenta una mejor resistencia a las cargas desarrolladas, con una estructura con mayor fricción y cohesión interna, siendo más rígida y resistente al ahuellamiento. También a partir del ensayo TSR ambas granulometrías estudiadas superan el 80% según la especificación AASHTO T 283, por lo que poseen una baja susceptibilidad a la acción del agua a corto plazo, finalmente a partir del ensayo de la Rueda de Hamburgo, MAC-1 y SUPERPAVE no superan lo mínimo establecido por la norma AASHTO T 324 que solicita 20 000 pases, por lo que las mezclas asfálticas con estas granulometrías no presentan un adecuado desempeño frente al ahuellamiento, además de baja resistencia al desprendimiento y problemas de adherencia. A continuación, la figura N° 36 a la izquierda la briqueta con granulometría MAC-1 y a la derecha la briqueta con granulometría SUPERPAVE.



Figura N° 31: Briquetas sometidas a ensayo de la Rueda de Hamburgo
Fuente: Aguilar, D. 2021

5.2 Análisis de resultados

Esta investigación puede ser utilizada como complemento y orientación de los manuales de diseño moderno de pavimentos asfálticos, así como también de los estándares establecidos en las normas, también de puntualizar y resaltar que la presente investigación es una recomendación mas no como una sustitución de las normas establecidas en el diseño moderno de pavimentos asfálticos. Teniendo en cuenta que en los capítulos anteriores se detallan las normativas, consideraciones y conclusiones de cada investigación recopilada para la sustentación de la presente investigación y se compararan los resultados con las hipótesis planteadas en la investigación para constatar la incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

Ramos, U. (2014). En su investigación plantea un diseño que garantizara durabilidad, permeabilidad, resistencia a las cargas de tráfico y climatológicas. Tomando en consideración la selección del TM del agregado grueso, optimo C.A y diseño de mezcla asfáltica en caliente. En la investigación si realizo un análisis de estabilidad Marshall con el TMN de agregado grueso de 1" para las muestras M-1, M-2 y M-3 teniendo para la un 5.0% porcentaje de asfalto una estabilidad para M-1 de 579.13, para M-2 636.89 y M-3 643.68 obteniendo como un promedio de 620 de estabilidad teniendo como rango de valores 531.88 inferior y 708.12 superior con un 95% de seguridad. El porcentaje óptimo de asfalto para un tamaño máximo nominal de 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ", siendo para 1" de contenido de asfalto 6.4%, para $\frac{3}{4}$ " 6.90%, 7.10% para $\frac{1}{2}$ " y 7.40% para $\frac{3}{8}$ " teniendo como conclusión que la granulometría incide directamente en el porcentaje óptimo de asfalto y por lo tanto

en el diseño de una mezcla asfáltica, así como la dependencia de la estabilidad y fluencia del tamaño máximo del agregado grueso.

Castro, F. (2012). Analizo la composición granulométrica del agregado en la mezcla asfáltica haciendo una composición el control de calidad a través de los huso de mezclas asfálticas, para lo cual debe tomo en consideración los rangos superior e inferior del módulo de finura, el porcentaje que pasa la malla Ni 200. Adicionalmente se consideraron las características principales y propiedades de una mezcla asfáltica, en consecuencia, se analizará el peso unitario del material disgregado y compactado, así como el contenido de humedad de la mezcla, porcentaje de absorción, porcentaje de vacío, peso específico y durabilidad.

Benavides, M. A. (2016) en su investigación realizo mediante el método Marshall una mezcla asfáltica con una proporción de polvo/asfalto efectivo =1.7, asimismo prepara de proporción 1.0 y 1.3, para comparar sus estadísticas donde para la relación polvo/asfáltico de 1.7, 1.3 y 1.0 se obtienen los valores de porcentaje de vacíos 4.69%, 11.47% y 6.30% respectivamente, teniendo como conclusión que se produce un sellado de vacíos conforme va aumentando el porcentaje que pasa la malla N°200 y por lo tanto el porcentaje de vacíos disminuye provocando una mezcla más plástica y que el módulo se reduzca.

Acevedo, N. (2021) analizo la estabilidad y flujo por medio del análisis Marshall, mediante la variación de los tamaños de los agregados por esferas de vidrio llevando a cabo este análisis con la mezcla MGC-38 realizó su ensayo con esferas de vidrio de tamaño 25mm, 22mm, 16mm, 11mm y 2.5mm reemplazando el agregado con estas esferas sin alterar la granulometría del agregado en las cuales obtuvo gracias de densidad. flujo y estabilidad. En la densidad se pudo obtener una relación inversamente proporcional en la densidad vs reemplazo los tamaños R1.#, R2.#, y R3.# lo cual indica una reducción en la densidad debido al porcentaje de vacíos a consecuencia del reemplazo de los tamaños, flujo vs reemplazo los tamaños R1.#, R2.#, y R3.#, y finalmente la estabilidad vs reemplazo los tamaños R1.#, R2.#, y R3.#. Concluyó que los ensayos con un mayor tamaño de material redondeado disminuyen la estabilidad y flujo por cada ensayo realizado, por lo cual,

se obtendrán mezclas menos flexibles y estables, además de obtener una relación directamente proporcional entre la estabilidad vs Densidad.

Reynoso, W., y Zelaya, N. J. (2014) realizó el estudio de los agregados de la cantera Cangari para la elaboración de una mezcla asfáltica realizando ensayo de análisis de granulométrico de la partícula gruesa y fina para posteriormente evaluarlos para analizar el rol que cumplen los materiales utilizados para finalmente el diseño de una mezcla para una rodadura de tráfico medio y bajo a través del método Marshall modificado de la Universidad de Illinois basado en las normas y manuales ASTM, ASSTHO, manual series-19 y manual serie-22 estos últimos del instituto del asfalto utilizo un agregado grueso (piedra chancada) con tamaño máximo 1 ½” y tamaño máximo nominal 1” cumpliendo con el Huso Granulométrico N° 56 (1”-¾”) referido con una grava mal graduada GP y en el agregado fino una arena mal graduada SP siendo una arena intermedia y un porcentaje que pasa la malla N°200 de 2.6% obteniendo como resultado que los agregados de calidad y con una aceptable granulometría tendrán un rol importante en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

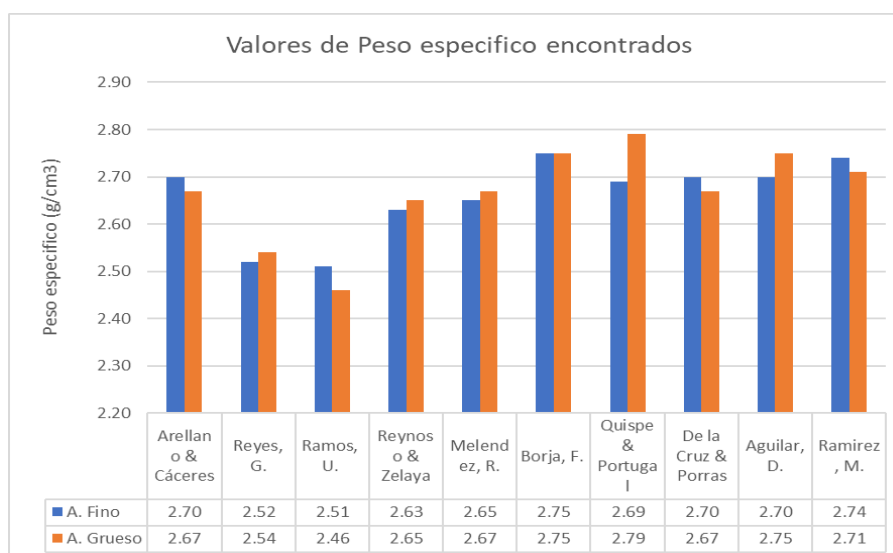


Figura N° 32: Peso específico encontrados según fuentes nacionales
Fuente: Elaboración propia

Según las fuentes nacionales consultadas los valores de peso específico encontrados tienen un mínimo de 2.51 gr/cm³ y un máximo de 2.75 gr/cm³ para agregados finos mientras que para el agregado grueso se encontraron valores a partir de 2.46 gr/cm³ hasta los 2.79 gr/cm³.

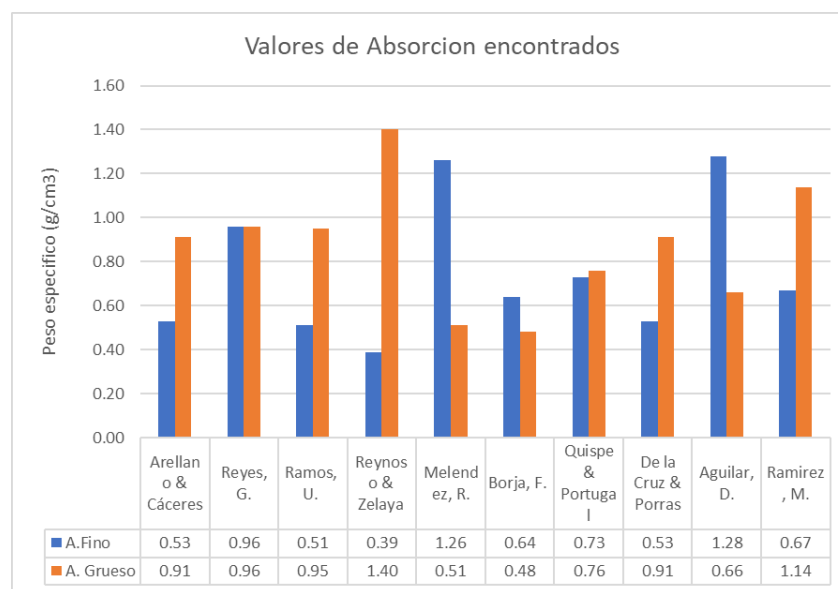


Figura N° 33: Absorción encontrados según fuentes nacionales

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la absorción los valores encontrados varían entre 0.39% y 1.28% para el agregado fino, mientras que para los agregados gruesos es de 0.48% hasta 1.40%.

Debido a que estos datos no guardan relación, ya que en algunos casos el peso específico o la absorción son mayores para el agregado fino o grueso, y viceversa, por lo que haciendo un mayor análisis relacionamos los valores de peso específico con los valores de vacíos de agregado mineral VMA, que viene a ser el volumen efectivo ocupado por el asfalto y los vacíos atrapados entre los agregados recubiertos expresados como un porcentaje del volumen total de la muestra, calculados a partir del peso específico de los agregados. por esta razón en la Tabla N° 16 se muestran las tesis nacionales con valores VAM y óptimos contenidos de asfaltos encontrados.

Tabla N° 16

Valores de contenido de asfalto y VMA según tesis Nacionales

N°	Fuente	Peso específico (g/cm3)		Absorción (%)		óptimo contenido de asfalto	VMA (%)	Lugar
		AF	AG	AF	AG			
1	Arellano & Cáceres	2.70	2.67	0.53	0.91	5.70	15.70	Huancavelica
2	Reyes, G.	2.52	2.54	0.75	0.96	5.80	17.80	Junin / Uso aditivo
3	Ramos, U.	2.51	2.46	0.51	0.95	6.40	18.47	Puno
4	Quispe & Portugal	2.69	2.79	0.73	0.76	5.60	15.50	Arequipa
5	De la Cruz & Porras	2.70	2.67	0.53	0.91	6.80	17.50	Huancavelica
6	Aguilar, D.	2.70	2.75	1.28	0.66	4.70	14.55	Arequipa
7	Ramirez, M.	2.74	2.71	0.67	1.14	6.10	17.50	Trujillo / Uso aditivo

Fuente: Elaboración propia

Con los valores de VMA y óptimo contenido de asfalto se procedió a realizar el análisis para determinar la relación entre estos valores como se muestra en la tabla N° 16 resultando ser directamente proporcionales, sin embargo, para los valores extraídos de las investigaciones de Reyes, G. y Ramirez, M. no guardaron relación a las demás debido al uso de aditivos mejoradores de adherencia en el diseño de estas mezclas asfálticas.

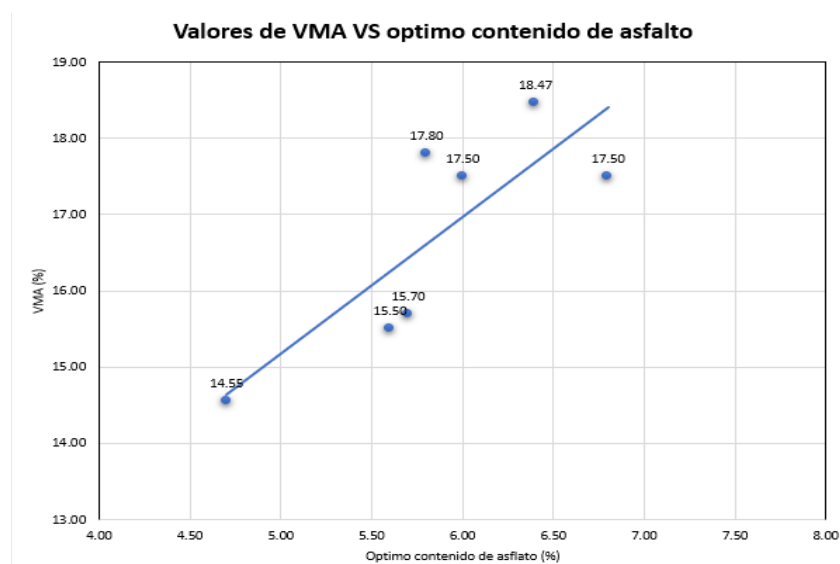


Figura N° 34: VMA vs Óptimo contenido de asfalto
Fuente: Elaboración propia

El análisis anterior no pudo ser aplicado con las tesis internacionales debido a varias de ellas fueron hechas con fines teóricos e investigativos sobre el potencial

de canteras, que a diferencia de las tesis nacionales, estas últimas sí fueron aplicadas a la realidad en la construcción de carreteras.

De igual manera se realizó el análisis para los valores de la absorción tanto para agregados finos y gruesos, relacionándolos con los valores encontrados para el óptimo contenido de humedad.

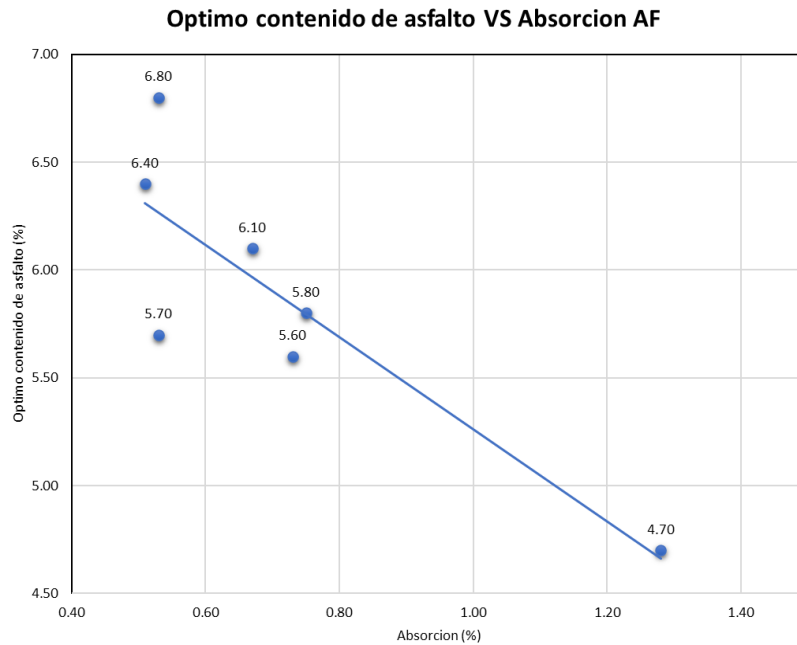


Figura N° 35: Absorción AF Vs Óptimo contenido de asfalto

Fuente: Elaboración propia

De la figura 35 se demuestra una relación inversamente proporcional entre la absorción del agregado fino y el óptimo contenido de asfalto, según especificaciones del MTC este valor no debe exceder el 0.5%, sin embargo, la norma lo permite siempre y cuando se aseguren las propiedades de durabilidad de la mezcla.

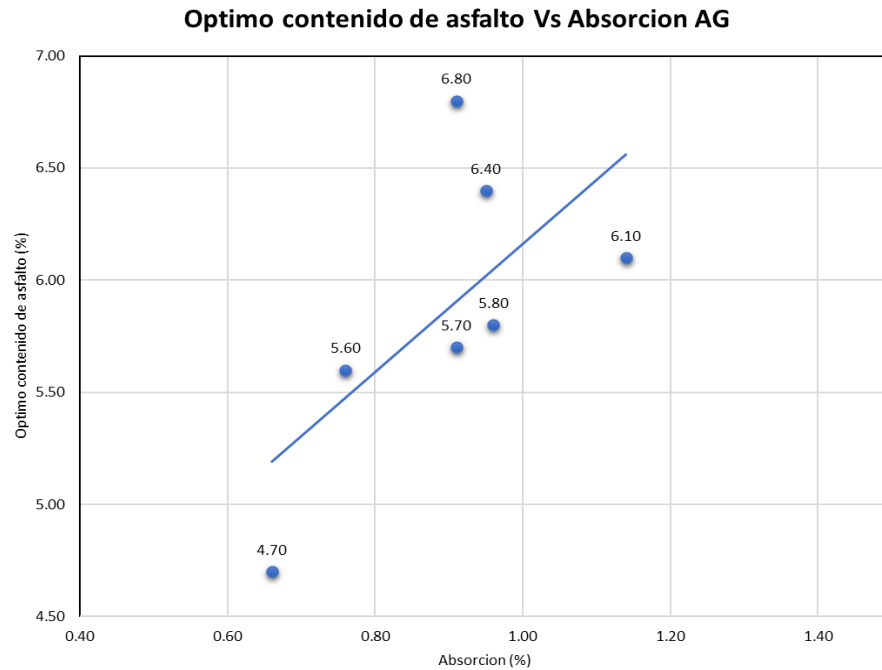


Figura N° 36: Absorción AG vs Óptimo contenido de asfalto
Fuente: Elaboración propia

En el caso de la absorción de los agregados gruesos, estos demuestran una relación directamente proporcional al contenido óptimo de asfalto, esto puede deberse a la porosidad que presenta el agregado lo cual conlleva a un aumento en la cantidad de asfalto, en términos generales cuanto mayor sea la tasa de absorción del agregado la mezcla asfáltica tendrá una mayor permeabilidad.

El porcentaje óptimo de contenido de asfalto aumentará para reducir la permeabilidad debido a los valores altos de absorción, pero al mismo tiempo un material con mayor densidad generará una menor cantidad de vacíos por lo que existirá una mayor cantidad de masa por cada unidad de volumen resultando en una mezcla más impermeable y por ende con mayor resistencia a la fatiga por la baja susceptibilidad a la humedad.

En relación al peso específico podemos afirmar que:

- El peso específico es el peso de una materia por unidad de volumen y la densidad es la masa de la materia por unidad de volumen, siendo el peso igual a la masa por aceleración de la gravedad. Por lo tanto, el peso específico es la densidad por aceleración de la gravedad.

- La resistencia a la fatiga se encuentra asociado a la flexión y la flexión en la estabilidad y flujo, debido a que la estabilidad es la resistencia a la deformación y el flujo la resistencia a la deformación sin agrietarse, siendo la fatiga el resultado de la fisuración del pavimento cuando las cargas aplicadas sobrepasan la resistencia del pavimento.
- En la fig. 35 se observa que el porcentaje de vacíos del agregado mineral está relacionado de manera directa al óptimo contenido de asfalto y se ha demostrado que la estabilidad está directamente relacionada con el porcentaje de vacíos. Además, que el porcentaje de vacíos corresponde a la cantidad de vacíos de aire en una materia porosa, resultando así en un menor peso por cada unidad de volumen por los vacíos generados en su volumen.
- Por lo que podemos decir que, para obtener de resultado una alta resistencia a la fatiga, debemos utilizar agregados que ocupan una mayor cantidad de peso por cada unidad de volumen o, en otras palabras, agregados con una alta densidad o peso específico. Concluyendo que el peso específico es directamente proporcional a la resistencia a la fatiga y podemos analizar el peso específico por medio de la estabilidad.

En relación a la absorción podemos afirmar que:

- La absorción de los agregados, es el aumento de masa del agregado por consecuencia del aumento de agua en los poros de aire en el material, es decir mientras el agregado contenga un mayor porcentaje de vacíos de aire absorberá una mayor cantidad de agua. Además, si un agregado es altamente absorbente entonces continuará absorbiendo asfalto incluso después del mezclado en planta ocasionando una menor cantidad de asfalto para poder ligar las demás partículas superficiales.
- La impermeabilidad es la resistencia al paso de aire y agua por lo que esta característica se encuentra directamente relacionada al porcentaje de vacíos de los agregados, debido a que si existe un mayor porcentaje de vacíos el agregado reduce su impermeabilidad por ser más susceptible al paso de agua.
- Entonces podemos decir que para obtener una alta impermeabilidad se necesitará un agregado que tenga baja porosidad y alta densidad para obtener un bajo

porcentaje de vacíos. Por lo tanto, el peso específico y la absorción son directamente proporcionales a la impermeabilidad.

Según las fuentes consultadas la angularidad de los agregados están directamente relacionadas con la con la estabilidad de la mezclas, puesto que mientras más angular sea el agregado la estabilidad de la mezcla será mayor, esto queda demostrado con la investigación de Acevedo, quien reemplazó parte de los agregados de mayor tamaños que poseían una forma sub redondeada y redondeada por esferas de cristal, las cuales al ser sometidas a los ensayos de estabilidad y fluencia, demostraron que a medida que la mezcla asfáltica contenía mayores agregados de forma redondeada (esferas de cristal) la estabilidad y fluencia disminuye considerablemente.

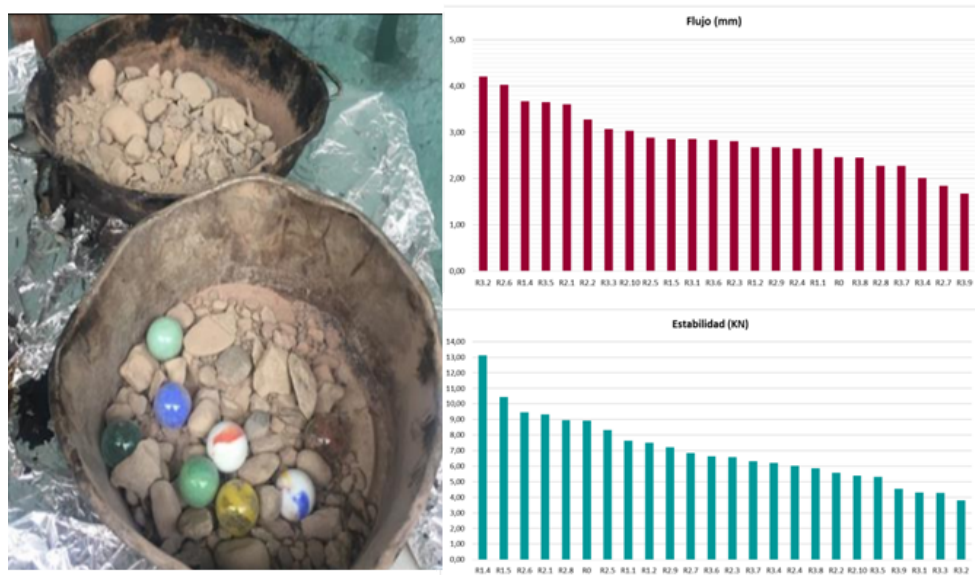


Figura N° 37: Reemplazo de agregados redondeados y ensayo de estabilidad y flujo

Fuente: Acevedo, N. (2021)

Por lo que se puede concluir que mientras el agregado presente una mayor angularidad y textura adecuada (rugosa o áspera), la adherencia de los agregados con el asfalto será mejor mejorando la estabilidad de la mezcla asfáltica.

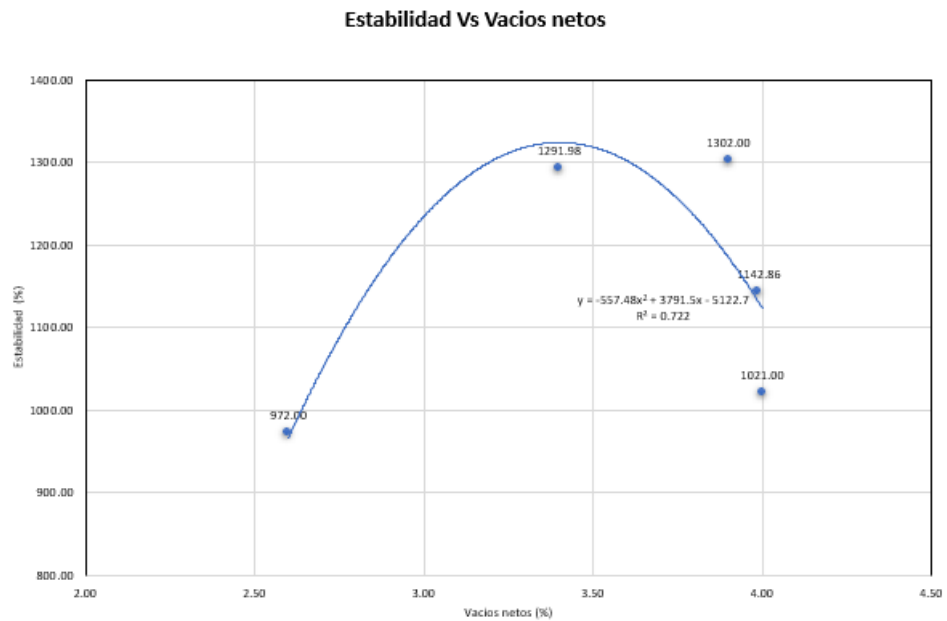


Figura N° 38: Estabilidad VS vacíos netos
Fuente: Elaboración propia

En relación a la forma de las partículas de los agregados podemos afirmar que:

- La angularidad y textura incide de manera directa con la estabilidad por las partículas internas que ocasionan fricción y cohesión entre sí. Además, que la fricción dependerá de la angularidad y la cohesión de la aspersion de la textura, por lo que en general mientras más angular sea la geometría y más áspera su textura resultará en una estabilidad superior.
- En relación a la flexibilidad esto dependerá de la estabilidad debido a que un valor muy alto de la estabilidad resultará en un pavimento rígido en otras palabras menos flexible.
- De la figura 37 podemos analizar que estabilidad disminuye, mientras el porcentaje de vacíos aumenta en consecuencia de contener un número alto de partículas redondeadas que contiene la mezcla. De manera que las partículas redondeadas aumentan la estabilidad, pero un valor muy alto de partículas redondeadas disminuyen la estabilidad por la gran cantidad de vacíos generados por estas. Por lo tanto, podemos asociar la estabilidad el porcentaje de vacíos.

A partir de la información recopiladas en el ámbito nacional se pudo determinar que estas emplean los husos granulométricos MAC-1, MAC-2 y ASTM D3515 (granulometría densa) para la combinación de agregados para mezclas asfálticas, la

granulometría de los agregados está directamente relacionada con el contenido de asfaltos puesto que entre más agregados finos contenga la gradación de la mezcla, se requerirá mayor contenido de asfalto para cubrir uniformemente las partículas, en su contraparte una mayor cantidad de agregados gruesos requiere una menor contenido de asfalto debido que presentan menor área superficial.

GRANULOMETRIA PARA DISEÑOS DE MEZCLAS ASFALTICAS RECOPIRADOS													
TAMIZ		%Pasa											
pulg	mm	Arellano y Caceres	Reyes, G.	Ramos, U.	Quispe y Portugal	De la Cruz y Porras	Aguilar, D	MAC-1		MAC-2		ASTM D3515	
								min	max	min	max	min	max
2	50.800												
1 1/2	38.100												
1	25.400	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100	100					
3/4	19.050	100.00	100.00	90.00	96.00	100.00	98.3	80	100	100			100
1/2	12.500	91.30	90.90	76.00	74.00	91.30	81.40	67	85	80	100		90 100
3/8	9.500	81.40	79.90	68.50	64.00	81.40	70.60	60	77	70	88		
1/4	6.350												
N° 4	4.760	61.20	58.30	48.50	50.00	61.20	53.70	43	54	51	68	44	74
N° 8	2.380	44.60			37.00	44.10	45.60						28 58
N° 10	2.000	39.20	43.80	36.96	35.00	39.10	42.60	29	45	38	52		
N° 16	1.190				24.00	28.00	35.10						
N° 20	0.840				21.00								
N° 30	0.590				18.00	16.10	24.40						
N° 40	0.420	12.80	20.60	11.36	15.00	13.30	19.90	14	25	17	28		
N° 50	0.297	9.10			10.00	9.70	15.70						5 21
N° 80	0.177	8.00	9.80	4.48	9.00	8.50	10.70	8	17	8	17		
N° 100	0.149				5.00	6.70	9.10						
N° 200	0.074	5.80	5.50	1.40	0.00	6.10	4.70	4	8	4	8	2	10
< N° 200	FONDO	ASTM-D3515	MAC-2	MAC-1	MAC-1	ASTM- D3515	MAC-1						

Figura N° 39: Husos granulométricos encontrados de fuentes Nacionales
Fuente: Elaboración propia

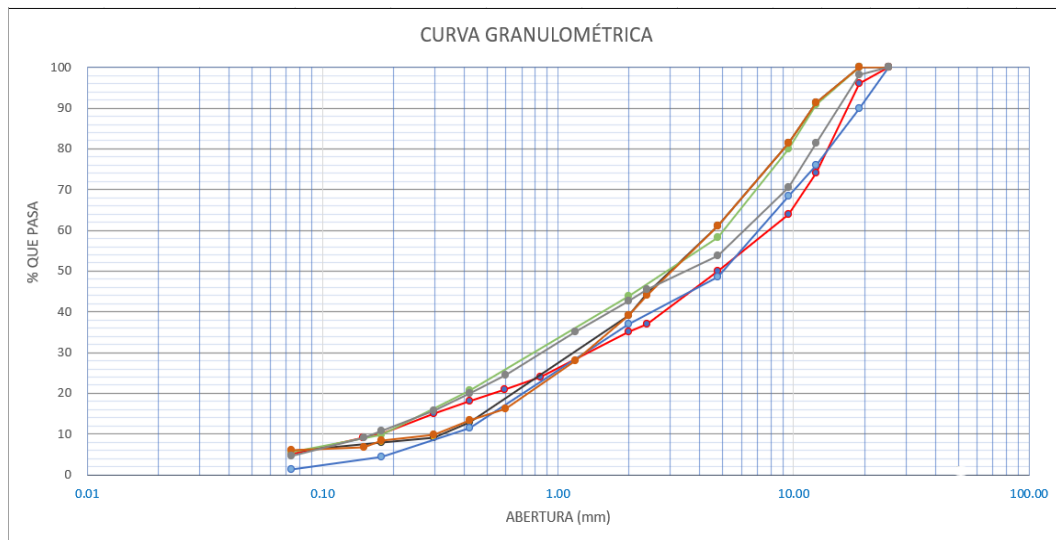


Figura N° 40: Curvas granulométricas para diseño mezclas asfálticas encontradas
Fuente: Elaboración propia

Una granulometría densa como aumenta la durabilidad de las mezclas asfálticas al tener un mejor contacto entre los agregados y el asfalto, permitiendo una mayor

permeabilidad por lo tanto una mayor resistencia a los efectos del agua evitando la desintegración del pavimento.

La trabajabilidad de las mezclas asfálticas también están influenciadas a la granulometría, debido a una mayor cantidad de agregados gruesos la mezcla presenta una resistencia a la compactación, un exceso de estos puede generar dificultades durante el proceso constructivo de la carpeta de rodadura, en combi un mayor porcentaje de finos hará que la mezcla presente poca resistencia a la compactación.

En cuanto a la resistencia al deslizamiento esta depende la textura final que se le dará a la carpeta de rodadura, así como la granulometría que posea puesto que está relacionado con el contenido de asfalto siendo así que a un mayor contenido o exceso de asfalto en la mezcla generará exudación ofreciendo una baja resistencia al deslizamiento. Una microtextura hace referencia a las irregularidades en la superficie de las partículas de agregado fino que afectan la adherencia, dichas irregularidades hacen que las partículas de agregado se sientan lisas o ásperas al tacto, la microtextura depende de la rugosidad inicial en la superficie del agregado y de la capacidad del agregado de retener su rugosidad contra el pulimento debido a la acción del tránsito, mientras que la macrotextura corresponde a las irregularidades más grandes en la superficie del pavimento, las cuales son asociadas con los espacios entre las partículas de agregado. Para mantener un valor de resistencia al deslizamiento elevado, la superficie de rodamiento del pavimento debe tener una buena micro y macrotextura.

En relación a la granulometría podemos afirmar que:

- La granulometría es la clasificación de tamaño de partículas en agregado grueso y fino, en una granulometría con agregado grueso y finos que se complementen entre sí, aumentará la durabilidad de las mezclas asfálticas al tener un mejor contacto entre los agregados y el asfalto, permitiendo una menor permeabilidad al llenar ese porcentaje de vacíos por lo tanto una mayor resistencia a los efectos del agua resultando en una mezcla con aceptable estabilidad y evitando la desintegración del pavimento por demasiada rigidez.

- La trabajabilidad del pavimento está influenciada por la granulometría, si en el caso de que la granulometría indique una mayor cantidad de agregados gruesos va a necesitar una mayor energía para poder ser compactada para llenar los porcentajes de vacíos del agregado grueso generando una menor trabajabilidad. Asimismo, si la granulometría indica una cantidad media de agregados gruesos y finos se complementarán entre si debido a que los finos pueden lograr llenar los vacíos del agregado grueso al ser partículas más finas y por ende reducir la energía necesaria para ser compactado, teniendo la mezcla una mejor trabajabilidad.

- En cuanto a la resistencia al deslizamiento esta depende la textura final que se le dará a la carpeta de rodadura, así como la granulometría que posea puesto que está relacionado con el contenido de asfalto siendo así que a un mayor contenido o exceso de asfalto en la mezcla generará exudación ofreciendo una baja resistencia al deslizamiento. Una microtextura hace referencia a las irregularidades en la superficie de las partículas de agregado fino que afectan la adherencia, dichas irregularidades hacen que las partículas de agregado se sientan lisas o ásperas al tacto, la microtextura depende de la rugosidad inicial en la superficie del agregado y de la capacidad del agregado de retener su rugosidad contra el pulimento debido a la acción del tránsito, mientras que la macrotextura corresponde a las irregularidades más grandes en la superficie del pavimento, las cuales son asociadas con los espacios entre las partículas de agregado. Para mantener un valor de resistencia al deslizamiento elevado, la superficie de rodamiento del pavimento debe tener una buena micro y macrotextura.

5.3 Contratación de hipótesis

H1-1: El peso específico y la absorción inciden en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas

H1-0: El peso específico y la absorción no inciden en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas

-El peso específico se relaciona con la estabilidad por medio del porcentaje de vacíos, asimismo el peso específico nos indica la cantidad de peso por unidad de volumen donde un alto peso específico contendrá un menor porcentaje de vacíos, además que la resistencia a la fatiga dependerá de la estabilidad ya que representa la resistencia al desplazamiento y deformación, la fatiga es la fisuración del

pavimento cuando las cargas sobrepasan la resistencia del pavimento. Por lo que podemos asociar el peso específico con la resistencia a la fatiga por medio de la estabilidad y el porcentaje de vacíos.

Una alta impermeabilidad necesita de un agregado que tenga baja absorción y alta densidad para obtener un bajo porcentaje de vacíos para disminuir la susceptibilidad al paso del agua. Por lo tanto, el peso específico y la absorción están relacionados a la impermeabilidad y esta se asocia al porcentaje de vacíos por lo que podemos determinar qué tan impermeable es la mezcla asfáltica con respecto al porcentaje de vacíos que contiene

El porcentaje de vacíos también puede ser regulado por la cantidad óptima de asfalto, pero al mismo tiempo mientras exista una alta cantidad de asfalto reducirá la estabilidad. Por lo tanto, la absorción se relaciona con la cantidad de asfalto por medio del porcentaje de vacíos y la estabilidad es inversamente proporcional a la cantidad de asfalto.

León P. (2019) llevó a cabo el estudio de la caracterización de los agregados de dos minas para el diseño de mezclas asfálticas, para la mina Guayllabamba un peso específico de agregados de 2.43 y 2.07% de absorción resultó en un pavimento con estabilidad 1523 kg y 4.10% de vacíos, para la mina Pintag un peso específico de 2.302 y absorción de 4.12% resultó en un pavimento con un valor de estabilidad y vacíos de 1187 kg y 4.26% respectivamente.

Esta investigación nos indica por medio de la estabilidad, que la mina con menor porcentaje de absorción y mayor densidad de agregados, obtiene una mayor resistencia a la fatiga. Asimismo, un mayor porcentaje de absorción de los agregados resulta en una mayor cantidad de vacíos para la mezcla, lo cual resulta en una mezcla con mayor permeabilidad.

Benavides, M. A. (2016) en su investigación realizó, mediante el método Marshall, una mezcla asfáltica con una proporción de polvo/asfalto efectivo =1.7, 1.3 y 1.0 para comparar sus estadísticas, con un agregado grueso de peso específico 2.685 y absorción 1.75% y un agregado fino de peso específico de 2.642 y absorción 2.46% para el diseño de mezcla original ,pero al momento de evaluar las características de los agregados resultaron diferentes a la utilizada en el diseño de la mezcla original

donde la gravedad específica del agregado grueso y su absorción aumentaron en 0.001 y 0.27% respectivamente y la gravedad específica del agregado fino disminuyó en 0.163 y su absorción aumentó en 2.3%. Teniendo como resultado para polvo/asfalto=1.0, un valor de estabilidad de 11.71 KN y 6.30% de vacíos, para polvo/asfalto=1.3 obtuvo de estabilidad 11.93 KN y 11.47% de vacíos finalmente para polvo/asfalto 1.7 resultó en estabilidad 9.07 KN y 4.69% de vacíos.

Se observa que, al contener una alta cantidad de absorción por parte de los agregados, la mezcla resulta con un porcentaje de vacíos elevado y por ende con mayor permeabilidad. Asimismo, la estabilidad aumenta por tener un peso específico alto en los agregados lo repercute aumenta la resistencia a la fatiga. En conclusión, se demuestra que el peso específico y la absorción inciden de manera directa en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga

Por lo cual se acepta la hipótesis H1-1 y se rechaza la hipótesis H1-0

H2-1: La angularidad y textura de los agregados inciden en la estabilidad y flexibilidad de las mezclas asfálticas.

H2-0: La angularidad y textura de los agregados no inciden en la estabilidad y flexibilidad de las mezclas asfálticas.

La angularidad y textura está asociado a la estabilidad por medio de la fricción y cohesión de las partículas internas dando un mayor resultado cuando el agregado es más anguloso y áspero en textura. Asimismo, al agregar demasiadas partículas angulosas genera un efecto negativo que reduce la estabilidad por el aumento de vacíos resultado de los agregados angulosos. Por lo que podemos decir que la estabilidad viene a estar relacionado con el porcentaje vacíos y por ende con el peso específico

La flexibilidad se asocia a la estabilidad ya que la estabilidad es la resistencia al desplazamiento y deformación. Por lo cual la estabilidad indicará que tan flexible es la mezcla asfáltica.

De esta manera podremos determinar que la angularidad y la textura si inciden en la estabilidad y flexibilidad por medio del porcentaje de vacíos, peso específico o por el mismo tipo angularidad y textura.

Arellano, L. L. & Cáceres, C. S. (2018) realizó un análisis de estabilidad entre dos ensayos con diferente morfología de textura de los agregados, siendo admisible ambos ensayos para la especificación EG-2013 de 815 kg como mínimo, y obteniendo un valor de estabilidad para el laboratorio y obra de 1021 y 1083 respectivamente, asimismo un porcentaje de vacíos de 4% y 3.1% respectivamente.

La investigación específica la angularidad del laboratorio siendo del 44.1% y de la obra solo aclara que presenta una diferente morfología en textura y angularidad a la del laboratorio. Se observa una diferencia de porcentaje de vacíos siendo 1021 kg para 4% de vacíos y 1083 kg por 3.1%. Por lo que demuestra que la angularidad y textura incide en la estabilidad y flexibilidad por medio del porcentaje de vacíos

Pei, Bi, Zhang, Li, & Liu (2016) realizó su investigación en la relación de las propiedades geométricas de los agregados con las propiedades de la mezcla asfáltica. Para ello se utilizaron los agregados de piedra caliza, gneis y basalto; para la rugosidad mínima de superficie se seleccionó el vidrio por su textura y angularidad maleable, donde estas fueron reemplazadas por formas esféricas, cuboide y prisma triangular como segundo agregado. Teniendo el siguiente orden de mayor a menor densidades, esfera> cuboide> prisma triangular> basalto> gneis> piedra caliza. Tuvo como conclusión que la estabilidad y flexibilidad por medio de la densidad serán mayores siempre y cuando las angularidades y texturas sean más regulares y lisos.

En esta investigación se observa que conforme la angularidad y textura se vuelven más regulares y ásperos, la densidad en la mezcla disminuye y por ende el porcentaje de vacíos aumenta al contener poca masa por unidad de volumen y partículas muy angulosas con textura lisa. Lo cual repercute en la reducción de la estabilidad conforme el porcentaje de vacíos aumenta. En conclusión, la angularidad y textura incide en la estabilidad y flexibilidad por medio del porcentaje de vacíos o peso específico

Acevedo, N. (2021) analizó la estabilidad por medio del análisis Marshall, mediante la variación de los tamaños de los agregados por esferas de vidrio, llevando a cabo este análisis con la mezcla MGC-38 (Mezcla gruesa en caliente con tamaño máximo de 38mm) y con esferas de vidrio de tamaño 25mm, 22mm, 16mm, 11mm y 2.5mm, reemplazando el agregado con estas esferas sin alterar la granulometría

del agregado, concluyendo que los ensayos con un mayor cantidad de material redondeado generan un mayor porcentaje de vacíos y por consecuencia disminuye la estabilidad por cada ensayo con más reemplazo de tamaños realizado. Por lo cual, se obtendrán mezclas menos flexibles y estables.

La investigación nos indica que el reemplazo por partículas más angulares y de textura lisa, generan una mayor estabilidad, pero cuando las partículas angulares y lisas aumentan en cantidad excesiva genera una menor estabilidad debido a que si la mayor parte de las partículas son redondeadas o angulosas, resultara en una mezcla con demasiado porcentaje de vacíos y por ende una menor estabilidad y flexibilidad. De esta forma se determina que la angularidad y textura incide en la estabilidad y flexibilidad.

Por lo tanto, se aprueba la hipótesis H2-1 y se rechaza la hipótesis H2-0

H3-1: La granulometría de los agregados incide en la durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento de las mezclas asfálticas.

H3-0: La granulometría de los agregados no incide en la durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento de las mezclas asfálticas.

La granulometría es la distribución de los agregados gruesos y finos según su tamaño en una muestra.

La estabilidad depende de la cohesión y la fricción de las partículas internas. Donde las partículas gruesas son más friccionan tés y las partículas finas tienen mayor cohesión por lo que será necesario una cantidad de agregados gruesos y finos que se complementen entre sí. Una estabilidad alta nos indica que un pavimento es demasiado rígido por lo que será un pavimento poco durable por la poca flexibilidad que contiene. Por lo cual podemos asociar la durabilidad con la flexibilidad

La trabajabilidad depende de la energía necesaria para ser compactada, una mezcla asfáltica tiene mayor trabajabilidad cuando necesite una menor energía para ser compactado. Por lo que una mezcla asfáltica con mayor cantidad de vacíos necesita una mayor energía para ser compactada para poder alcanzar la densidad óptima.

La resistencia al deslizamiento dependerá de la cantidad de asfalto y de los agregados gruesos y finos por micro y macro textura donde la micro textura dependerá de los finos y la macro textura en los vacíos. Asimismo, del análisis se concluyó en una relación inversamente proporcional con el tamaño máximo nominal del agregado con la cantidad óptima de asfalto y la estabilidad se reduce cuando el tamaño máximo nominal disminuye

Reyes, G. (2020) determina que la cantera Satipo con una combinación granulométrica adecuada de piedra chancada (menor de $\frac{3}{4}$ " en 26%), arena zarandeada (menor de $\frac{3}{8}$ " en 42%) y arena chancada (menor de $\frac{3}{8}$ " en 32%), junto a un cemento asfáltico de PEN 60/70 se obtiene un mejoramiento estabilidad de 1291 kg y vacíos de 4.2% en comparación mezcla granulométrica que utilizo un 35% de agregado grueso que obtuvo de resultado 1321 kg y vacíos de 4.3%

Se puede determinar que al contener en arena en un 74% y piedra en 26% y la estabilidad depende del tamaño de las partículas resultará en un pavimento no muy rígido por lo cual el pavimento es más durable. Al contener una mayor parte de arena puede complementarse con la piedra en los vacíos de la mezcla resultando en un pavimento que requerirá menos energía para ser compactada y por ende con una mayor trabajabilidad. Asimismo, en resistencia al deslizamiento al tener en su mayoría arena contendrá una mayor micro textura y se complementará con la macrotextura de las gravas por lo cual tendrá una buena macro textura.

Ramos, U. (2014) en su investigación realizó cuatro ensayos de diseño de mezcla asfáltica con la variación del tamaño máximo nominal de $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ " y 1" y obtuvo de estabilidad 995, 1110, 1230 y 1300 respectivamente, 7.40%, 7.10%, 6.90% y 6.40% respectivamente para la optimización de la carpeta de rodadura y de vacíos 2.185% 2.19%, 2.195% y 2.2% para un porcentaje de asfalto, siendo el tamaño máximo nominal una derivación de la granulometría.

Se puede analizar una reducción en la estabilidad por parte de la granulometría del agregado dando a deducir que el tipo de granulometría mientras valla con tendencia a volverse fino la estabilidad se reducirá, generando así una menor durabilidad. Podemos notar que el porcentaje de vacíos se va reduciendo conforme se vuelve más fino por lo tanto al ir completando su porcentaje de vacíos requerirá menos energía al momento de compactar por lo cual aumenta su trabajabilidad.

Finalmente, de la granulometría podemos notar que mientras se vuelve más fino las partículas generan una mejor micro textura y al contener partículas gruesas mejoran su macro textura, dándole una mejor resistencia al deslizamiento según su granulometría

Cortez, Guzmán y Reyes, manifiestan que a medida que aumenta el tamaño máximo del agregado o el porcentaje de agregado gruesos en la mezcla, la trabajabilidad disminuye notablemente, por lo que se requerirá de mayores esfuerzos de compactación por lo la trabajabilidad si está directamente influenciada con la granulometría. De igual manera si la granulometría es densa, estas tienen un gran número de puntos de contacto entre las partículas, que pueden dar una alta resistencia friccional y reducir la posibilidad de trituración de las partículas en los puntos de contacto lo que aumenta la resistencia de la mezcla asfáltica, Finalmente en relación a la resistencia al deslizamiento estos dependen de los agregados gruesos con textura áspera y de un contenido de asfalto adecuado, lo que genera una mezcla asfáltica con estabilidad adecuada, evitando deformaciones tempranas y exudación, ofreciendo una mejor resistencia al deslizamiento de la carpeta de rodadura.

Se puede determinar mediante la granulometría que, al contener una mayor cantidad de partículas gruesas, la estabilidad aumenta, pero esto vuelve más rígido al pavimento lo cual lo vuelve menos durable de lo deseado. Asimismo, al contener más partículas gruesas no se completarán los porcentajes de vacíos generados por las partículas gruesas requiriendo mayor energía para ser compactado y por ende disminuye su trabajabilidad. Finalmente, la granulometría también nos indica que tipo de macro y micro textura obtendrán por medio de sus partículas finas y gruesas. De esta manera se ha demostrado que la granulometría incide en la durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento.

Por lo cual, se acepta la hipótesis H3-1 y se rechaza la hipótesis H3-0

Si se valida la hipótesis H1-1: El peso específico y la absorción inciden en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas; H2-1: La angularidad y textura de los agregados inciden en la estabilidad y flexibilidad de las mezclas asfálticas; H3-1: La granulometría de los agregados incide en la durabilidad, trabajabilidad y resistencia. Entonces se valida la hipótesis general

H0-1: La calidad de los agregados, incide en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos.

CONCLUSIONES

1. La calidad de los agregados incide de manera directa en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos flexibles debido a que los agregados componen aproximadamente un 95% a 97% del total de la mezcla asfáltica según las fuentes consultadas, asimismo debido a las propiedades que poseen como el peso específico, la absorción, la angularidad y textura por mencionar algunas, modifican el comportamiento y la estructura entre el agregado y el asfalto.
2. El porcentaje de absorción de los agregados incide de manera directamente proporcional Si en caso el porcentaje de absorción sea alto significa un porcentaje de vacíos elevado por lo cual repercutirá en un aumento de porcentaje asfalto para disminuir el porcentaje de vacíos y por ende la absorción de los agregados obteniendo de la fig. 35 resulta una tendencia de disminuir en 1.7% la relación polvo/asfalto efectivo por cada 0.75% de absorción del agregado fino y de la fig. 36 se observa una tendencia de aumentar en 0.5% la relación polvo/asfalto por cada 0.4% de absorción de agregado grueso donde la relación polvo/asfalto será importante para obtener la óptima relación contenido asfalto para lograr una mayor impermeabilidad en la mezcla. Asimismo, el peso específico incide en la estabilidad por medio del porcentaje de vacíos, dado este modo que si el porcentaje de vacíos aumenta va a resultar en un bajo peso específico ya que esta representa el peso por cada unidad de volumen. De esa manera relacionamos el peso específico de manera directamente proporcional con la estabilidad por el porcentaje de vacíos, según la fig. 38 la estabilidad disminuye en 150 kg por cada 0.6% de vacíos que aumente en la mezcla, teniendo en consideración que la estabilidad representa la resistencia el pavimento la resistencia a la fatiga dependerá de la estabilidad. Por lo tanto, el

peso específico y la absorción de los agregados inciden de manera directamente proporcional a la resistencia a la fatiga e impermeabilidad de las mezclas asfálticas.

3. La forma de las partículas de los agregados, según la angularidad y textura refuerzan la estabilidad y flexibilidad de la mezcla asfáltica debido a que las partículas angulosas y lisas se complementan en el porcentaje de vacíos, en la fig. 38 de estabilidad vs vacíos netos se observa un aumento de 230 kg de estabilidad por cada 0.8% de vacíos en la mezcla debido a la acción favorable de las formas de las partículas en la mezcla asfáltica, pero cuando superan el umbral de 3.40% de vacíos netos, la forma de las partículas de los agregados se vuelve desfavorable disminuyendo en 150 kg la estabilidad por cada 0.6% de vacíos netos. Por lo cual la forma de las partículas de los agregados incide de manera idónea en la estabilidad y flexibilidad por medio del porcentaje de vacíos.

4. La granulometría nos indica que mientras más grandes sean las partículas de los agregados utilizadas en la mezcla asfáltica se obtendrá una mayor rigidez y por lo tanto un pavimento con menor durabilidad. Asimismo nos indica el porcentaje de gruesos y finos, siendo los finos capaces de complementar el contenido de vacíos de los gruesos, esto resultaría en una reducción de porcentaje de vacíos en la mezcla y por lo tanto la reducción de energía necesaria para la compactación obteniendo una mayor trabajabilidad, a partir de las tesis nacionales consultadas se determinaron los husos granulométricos más usados siendo estos MAC-1 con $TM=1"$ $TMN= 3/4"$, MAC-2 CON $TM=3/4"$ $TMN= 1/2"$ y ASTM D 3515 con $TM=3/4"$ $TMN= 1/2"$. Los finos también tienen una mayor cohesión con respecto a los gruesos por lo que resultara en un pavimento estable y por ende una mayor resistencia al deslizamiento. De esta forma, se demuestra que la granulometría incide de manera idónea en la durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar las investigaciones con respecto a los agregados pétreos para obtener una mejor guía de clasificación de los agregados y posibles resultados de tipos de pavimento. Para poder aprovechar de una manera idónea a los agregados según sus formas, tamaños, geomorfología y características, en diversas partes del mundo para el diseño y elaboración de pavimentos.
2. Se recomienda realizar ensayos de peso específico y absorción a los agregados con alguna frecuencia, para monitorear que no haya cambios de densidad significativos en los materiales y que pudieran afectar las propiedades volumétricas de los mismos y por consiguiente afectar el diseño de la mezcla.
3. Los agregados en las plantas fabricadoras deben ser evaluados continuamente bajo las especificaciones de la norma técnica peruana y *American society for testing and materials* (ASTM) ya que un agregado que cumple todas las especificaciones y tengan resultados positivos en laboratorio siempre se obtendrá una mezcla asfáltica de buena calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, N. (2021). *Influencia de la forma de los agregados en la estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica empleando el equipo Marshall* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Aguilar, D. (2019). *Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y SUPERPAVE* (Tesis De Titulación). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Asensios, M. e Izarra, Y. (2021). *Nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base del pavimento estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica* (Tesis De Titulación). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Arellano, L. L. y Cáceres, 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* (Tesis De Titulación). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Arévalo, J. y Rodríguez, J. (2021). *Diseño de una mezcla asfáltica permeable con agregados minerales de la zona.* (Tesis De Titulación). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Bastidas, J. y Rondón, H. (2020). *Caracterización de mezclas de concreto asfáltico.* Universidad piloto de Colombia. Bogotá, Colombia
- Benavides, M. A. (2016). *Efecto de la variación de la relación polvo / asfalto sobre la durabilidad de mezclas asfálticas* (Tesis de Licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

- Borja, F. (2014). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados del pavimento flexible de la carretera Cañete - Lunahuaná* (Tesis De Titulación). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Castro, F. (2012). *Condiciones para el uso del agregado global para mezclas asfálticas* (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Cervantes, V., y Sequeira, W. (2014). Consistencia de los diseños de mezcla según la metodología Marshall. UCR, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME).
- Cortez, J., Guzmán, H. y Reyes, A, (2007). *Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente* (Tesis de Titulación). Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
- 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>
- Darquea, F. (2017). *Determinación del grado de absorción de los materiales áridos provenientes de la cuenca Río Paute y Jubones y sus incidencias en los costos de producción de las mezclas asfálticas* (Tesis para Grado de Magíster). Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Delgado, H., Garnica, P., Villatoro, G., y Rodríguez, G. (2006) *Influencia de la granulometría en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica*. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México.
- De la Cruz, P. y Porras, M. (2015). *Evaluación de desempeño de mezclas asfálticas en caliente diseñadas por la metodología Marshall con el ensayo de la rueda cargada de Hamburgo para el proyecto de rehabilitación de la carretera DV Imperial-Pampas* (Tesis de Titulación). Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú. México.
- Garnica, P., Delgado, H., y Sandoval, C. (2005). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE*

MEZCLAS ASFÁLTICAS (Publicación Técnica No 271). Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Ciudad de México, México.

- Gómez, J. y Solano, D. (2016). *Determinación del agregado fino (agregado de río o agregado de peña) con mayor adhesividad al ligante asfáltico* (Tesis de Titulación). Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.
- Gracia, C y Pardo, S. (2012). *Determinación del fenómeno de stripping en mezclas asfálticas porosas preparadas con asfalto base de similar penetración y proveniente de Colombia y Venezuela*. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá, Colombia.
- León, P. (2019). *Caracterización de agregados de dos minas para el diseño de mezcla asfáltica en caliente que cumplan con especificaciones del MTOP* (Tesis para Grado de Magíster). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Liu, P., Hu, J., Wang, D., Oeser, M., Alber, S., Ressel, W., & Canon Falla, G. (2017). *Modelling and evaluation of aggregate morphology on asphalt compression behavior. Construction and Building Materials*, 133, 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.041>
- Meléndez, R. (2019). *Verificación de propiedades físicas del agregado de la cantera de molinos - San Rafael - Alcas - Pozuzo según diseño de Marshall – 2019* (Tesis De Titulación). Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco, Perú.
- Mendoza, M. (2009). *Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico método Marshall* (Trabajo De Grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Antigua Guatemala, Guatemala.
- Menéndez, J. (2010). *Ingeniería de Pavimentos: Materiales, Diseño Y Conservación* (1ra. ed.). Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG).
- Menéndez, J. (2016). *gra* (5ta. ed.). Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG).
- Minaya, S., y Ordoñez, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos* (2da. ed.). Universidad Nacional de Ingeniería.

- Ministerio de Transportes (2019). *Guía de Buenas Prácticas para el Control de Calidad de Mezclas Asfálticas y Aplicaciones Bituminosas* (19a. ed.). Vialidad Nacional.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_de_buenas_practicas.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013*. Lima, Perú.
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf)
- Peide, Yue, Boxiang, Mingliang y Shaopeng (2018). *Características morfológicas de los agregados y su influencia en el comportamiento de la mezcla asfáltica* (Artículo científico). Instituto de Investigación del Ministerio de Transporte de Carreteras, Beijing. China
- Peralta, J. (2021). *Estudio de la incidencia de la mineralogía de agregados pétreos sobre la adhesividad con asfalto* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia.
- Peralta, J. (2021). *Estudio de la incidencia de la mineralogía de agregados pétreos sobre la adhesividad con asfalto* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia
- Pei, Bi, Zhang, Li, & Liu (2016). *Impactos de las características geométricas de los agregados en las propiedades reológicas de las mezclas asfálticas durante la etapa de compactación y servicio* (Artículo científico). Instituto de Investigación de Ingeniería Municipal de Tianjin. China
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816314623>
- Ramirez, M. (2015). *Evaluación de compatibilidad de mezclas asfálticas, utilizando agregados de la cantera San Martín con cemento asfáltico PEN 60//70 y emulsión asfáltica CSS-IHP* (Tesis de Maestría). Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

- Ramos, U (2014). *Influencia del tamaño máximo del agregado grueso de la cantera Condorire en el diseño de mezclas asfálticas en caliente para la carretera Puno – Tiquillaca - 2014* (Tesis de Titulación). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Reynoso, W., y Zelaya, N. J. (2014). *Estudio de los agregados de la cantera de (cangari) para la elaboración de la mezcla asfáltica para pavimento flexible en la Provincia de Huanta - Ayacucho* (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Reyes, G. (2020). *Comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas en caliente en el distrito de Mazamari, provincia de Satipo* (Tesis De Titulación). Universidad Peruana Los Andes, Junín, Perú.
- UMSS (2015). Manual Completo: Diseño de Pavimentos (1ra. ed.). Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología
- <https://www.libreriaingeniero.com/2019/06/manual-completo-diseno-de-pavimentos-umss.html>
- Velasco, L. (2016). *Permeabilidad del concreto asfáltico: influencia de la granulometría y el contenido de cemento asfáltico* (Tesis De Titulación). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, CDMX, México.
- Velázquez, M. (s.f.). Manual del Asfalto. Editorial: URMO, S. A. DE EDICIONES.
- Recuperado de <https://www.udocz.com/apuntes/44273/manual-del-asfalto-manuel-velazquez>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

INCIDENCIA DE LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables			
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿En qué medida la calidad de los agregados, incide en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos?	Determinar la incidencia de la calidad de los agregados en las propiedades mecánicas en las mezclas asfálticas para pavimentos.	La calidad de los agregados, incide en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para pavimentos.	Calidad de los agregados	Peso específico y absorción	Densidad relativa de los agregados y % de absorción	Método de investigación Método: Inductivo Orientación: Aplicada Enfoque: Mixto Recolección de datos: Retrospectiva TIPO DE INVESTIGACIÓN Nivel de investigación Descriptivo - Correlacional Descriptivo - Explicativo Diseño de investigación No experimental - Transversal - Retrospectivo Población y muestra Mezclas asfálticas para pavimentos Técnica Recolección de datos Instrumentos
				Angularidad y textura	Angularidad, textura, caras fracturadas	
				Granulometría	Tamaño máximo nominal	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente			
1.- ¿De qué manera el peso específico y la absorción de los agregados inciden en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas?	1.- Determinar la incidencia del peso específico y la absorción en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas.	1.- El peso específico y la absorción inciden en la impermeabilidad y resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas.	Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	Estabilidad	Porcentaje de caras fracturadas	
				Durabilidad	Resistencia a los sulfatos	
				Impermeabilidad	Granulometría	
2.- ¿De qué manera incide la angularidad y textura de los agregados en la estabilidad y flexibilidad de las mezclas asfálticas?	2.- Determinar cómo incide la angularidad y textura de los agregados en la estabilidad y flexibilidad de las mezclas asfálticas.	2.- La angularidad y textura de los agregados inciden en la estabilidad y flexibilidad de las mezclas asfálticas.		Flexibilidad	Densidad	
				Trabajabilidad	Forma de los agregados	
3.- ¿De qué manera incide la granulometría de los agregados en la durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento	3.- Determinar la incidencia de la granulometría de los agregados en la durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento	3.- La granulometría de los agregados incide en la durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento de las mezclas asfálticas.		Resistencia a la fatiga	Círculo de arena	
				Resistencia al deslizamiento	Porosidad	

de las mezclas de las mezclas
asfálticas? asfálticas.
