



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
BARINAS, ESTADO BARINAS**



**ESCORIA DE ACERO COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO GRUESO
EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

AUTOR:

Barrios, Josefina

C.I: 27.145.803

Briceño, Wleymer

C.I: 28.295.809

TUTOR ACADÉMICO:

Ing. Jorge Figueredo

Barinas, Marzo de 2023.



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
BARINAS, ESTADO BARINAS**



**ESCORIA DE ACERO COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO GRUESO
EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Trabajo Especial de Grado presentado como requisito parcial para optar
por el título de Ingeniero Civil

AUTOR:

Barrios, Josefina

C.I: 27.145.803

Briceño, Wleymer

C.I: 28.295.809

TUTOR ACADÉMICO:

Ing. Jorge, Figueredo

Barinas, Marzo de 2023.



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
BARINAS, ESTADO BARINAS**



APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor (a) del Trabajo de Especial de Grado presentado por los ciudadanos **Barrios Josefina, C.I. 27.145.803, Briceño Wleymer C.I. 28.295.809** para optar al título de **Ingeniero Civil**, considero que este reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Barinas a los _____ días del mes de _____ del _____

Tutor (a): Jorge Figueredo

C.I.:



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
BARINAS, ESTADO BARINAS**



**ESCORIA DE ACERO COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO GRUESO
EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

AUTORES:

Barrios, Josefina

C.I: 27.145.803

Briceño, Wleymer

C.I: 28.295.809

Trabajo Especial de Grado aprobado en nombre de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora" por el siguiente jurado, a los _____ días del mes de _____ del _____.

JURADO C.I.

JURADO C.I.

TUTOR C.I.

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios quien ha sido nuestro guía espiritual, por siempre estar a nuestro lado, dándonos fortalezas, la fuerza, entendimiento y motivación para continuar en este proceso de obtener una de nuestras metas. Gracias padre eterno por tus bendiciones.

A nuestros Padres; por guiar nuestra vida al éxito, por darnos lo mejor de ellos. Por el amor, orientación, confianza, paciencia y darnos siempre su apoyo; a ustedes les dedicamos nuestro primer triunfo como profesional.

A nuestros familiares, que siempre nos han expresado y hecho sentir su amor y confianza a lo largo de nuestra meta.

A nuestros hermanos, por el amor y el apoyo que siempre nos han impulsado a seguir adelante, aún desde la distancia.

A nuestros amigos por estar presentes y colaborar de una u otra forma en nuestra vida y a lo largo de nuestra carrera.

Y a todas aquellas personas que nos apoyaron y que hicieron posible que el trabajo se realizara con éxito, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron su conocimiento

RECONOCIMIENTO

A Dios Todopoderoso, quien ha sido nuestra guía espiritual, por habernos dado salud, fortaleza, luz, fuerza, entendimiento, motivación, constancia y sobre todo sabiduría para lograr el mérito deseado.

A nuestros padres, Francis Valero, Zaida Méndez y Vladimir Briceño, y familiares, quienes siempre nos han dado todo el amor, apoyo, comprensión y colaboración. Gracias a ellos hoy por hoy hemos alcanzado nuestros sueños y anhelos más preciados. Estamos más que orgullosos de ser sus hijos.

A nuestros hermanos, por el inmenso cariño, entusiasmo y comprensión, nos motivan a ser cada día mejores.

A la UNELLEZ por abrirnos sus puertas, y contribuir a nuestra formación profesional, y a los profesores por su orientación asesoría y guía para alcanzar nuestros objetivos propuestos.

Al profesor Jorge Figueredo por tenerlo como tutor, también al profesor Rafael Rodríguez por el apoyo y la ayuda aportada en esta investigación, que nos ha brindado la oportunidad.

A nuestros preciados amigos, con quienes compartimos momentos de alegrías, angustia, tristeza y felicidad a lo largo de todos estos años de carrera, y que permanecerán en nuestras memorias a pesar del tiempo y la distancia.

INDICE GENERAL

Resumen	10
Introducción	12
CAPÍTULO I.....	14
EL PROBLEMA	14
Planteamiento del problema.....	14
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
Justificación De La Investigación	17
Línea de investigación.....	17
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	18
Alcances.....	18
Delimitaciones.....	18
Limitaciones	18
CAPITULO II.....	20
MARCO TEORICO	20
Antecedente De La Investigación.....	20
Bases teóricas.....	22
Ensayos Para Determinación De La Caracterización De Agregados	30
Prueba De Desintegración Al Sulfato De Sodio	30
Pruebas De Partículas Planas Y Alargadas	30
Prueba De Gravedad Especifica	31
Prueba Equivalente De Arena	31
Prueba De Índice Plástico	32
Tipos de mezclas asfálticas.....	32
Propiedades De Las Mezclas Asfálticas.....	32
Procedimientos Del Diseño De Mezclas Asfáltica	33
Clasificación De La Mezcla Asfáltica Según Su Granulometría.	34

Tabla 1. Porcentaje En Peso De Material Que Pasa Los Cedazos, Granulometría Densa	35
Tabla 2. Porcentaje En Peso De Material Que Pasa Los Cedazos, Granulometría Abierta.	35
Método De Marshall Para El Diseño De Mezclas.....	35
Uso.....	39
Escoria de acero	40
Tipos de escorias	41
Figura 1: Escoria Cristalizada.....	42
Figura 2: Escoria Granulada.....	43
Características Físicas De La Escoria De Acero.....	44
Utilidad De La Escoria De Acero	45
Bases Legales	45
Constitución de la República Bolivariana de Venezuela; Capítulo IX - de los Derechos Ambientales, Publicada en Gaceta Oficial del jueves 30 de diciembre de 1999, N° 36.860, artículo 127:	45
- NORMAS ASTM Y COVENIN PARA AGREGADOS GRUESOS.....	46
- NORMAS ASTM Y COVENIN PARA AGREGADOS FINOS.....	47
CAPÍTULO III.....	49
MARCO METODOLÓGICO.....	49
Naturaleza de la Investigación	49
Diseño de la Investigación.....	49
Tipo de Investigación	50
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	50
Cuadro N° 3. Operacionalización de las Variables	52
CAPITULO IV.....	53
ANALISIS DE RESULTADOS	53
Estudio comparativo	53
La escoria de Acero	69
CAPITULO V.....	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
Conclusiones.....	72
Recomendaciones.....	73

Índice de Tablas

Tabla 1	pág. 34
Tabla 2.....	pág. 34
Tabla 3.....	pág. 51
Tabla 4.....	pág. 54
Tabla 5.....	pág. 54
Tabla 6.....	pág. 56
Tabla 7.....	pág. 60
Tabla 8.....	pág. 61
Tabla 9.....	pág. 61
Tabla 10.....	pág. 62
Tabla 11.....	pág. 63
Tabla 12.....	pág. 64
Tabla 13.....	pág. 65
Tabla 14.....	pág. 67
Tabla 15.....	pág. 68
Tabla 16.....	pág. 69

Índice de figuras

Figura 1.....	pág. 41
Figura 2.....	pág. 42



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
BARINAS, ESTADO BARINAS**



**ESCORIA DE ACERO COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO GRUESO
EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

AUTOR:

Barrios, Josefina C.I: 27.145.803

Bricemos, Wleymer C.I: 28.295.809

Tutor Académico: Jorge Figueredo

febrero, de 2023

Resumen

El presente estudio se basa en la escoria de acero como sustituto del agregado grueso en mezclas asfálticas, con el fin de determinar la funcionalidad del uso de la escoria de acero como agregado grueso, partiendo de la creciente necesidad de implementar una opción viable en nuevas alternativas ambientales que generen un desarrollo sustentable. Así mismo, para el desarrollo de la investigación se llevó a cabo una metodología exploratoria por medio de estudios previos, permitiendo un análisis de las propiedades de los agregados gruesos y también de la escoria de acero, llegando de esta manera a una serie de resultados donde se observó que la escoria tiene propiedades equivalentes, ya que están entre los rangos establecidos por norma, por lo que se llegó a una conclusión en donde se analiza que; La escoria no puede ser sustituido de

una forma completa por el agregado grueso ya que no cumple con los parámetros mecánicos y químicos en su totalidad, sino que, es un elemento que contribuye a las propiedades física y química en el diseño de mezcla asfáltica ya que proporciona mayor estabilidad y durabilidad a la mezclas .

Descriptores o palabras claves: escoria, agregados gruesos, mezcla asfáltica, Propiedades y funcionalidad

Introducción

La escoria de acero o de Acería, se comprende como un sub- producto industrial en el desarrollo de acero en las siderúrgicas a lo largo y ancho del mundo. Esta a su vez, significa que es un desecho, el cual, se acumula en vertederos cerca de las industrias siderúrgicas y promueven la contaminación de los suelos y del aire, en parte por sus partículas ya desgastadas y altas en metales ferrosos que pueden dispersarse por el aire. Es por esa razón que se implementa un

De tal manera, como propósito de esta investigación se pretende evaluar la escoria como sustituto del agregado grueso en mezclas asfáltica a través de investigaciones previas, donde se toaron resultados físicos y químicos por medio de ensayos de laboratorios, avalados por norma. Y de igual forma determinar si la escoria cumple con todas sus funciones, en donde se tomó como referencia rangos y criterios a considerar en el diseño de mezclas asfálticas usados para construcciones viales

la propuesta para un desarrollo sustentable de la escoria de Acería, supone una solución necesaria.

Se destacan alternativas para el uso de la escoria de Acería en diferentes sectores de la construcción como: El estructural, vialidades, materiales de construcción, entre otros.

El trabajo especial de grado está elaborado de acuerdo a la normativa establecida y comprende los siguientes capítulos y contenidos:

Capítulo I. Planteamiento del problema, objetivos generales y específicos, justificación de la investigación, alcances y limitaciones.

Capítulo II. Antecedentes de la investigación, antecedentes de la investigación, bases legales y bases teóricas.

Capítulo III. Naturaleza de la investigación, tipo de investigación, diseño de la investigación, instrumentos, técnicas e instrumentos para recolección de datos, validez y confiabilidad.

Capítulo IV. Análisis de resultados.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones.

Para finalizar, se anexan al informe la bibliografía, documentos, planillas y técnicas trabajadas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del problema

En la última década el desarrollo sustentable se ha convertido en uno de los aspectos claves a tener en cuenta para la industria siderúrgica, debido a la producción de dos (02) a cuatro (04) toneladas de acero que se produce, se genera una (01) tonelada de escoria, formando grandes cantidades de residuos, creando de esta manera una dificultad, no solo de volumen, si no que a su vez es un contaminante del medio ambiente. Según Jiménez (2001), citada por Pérez y Silva (2021), expresa:

Las estadísticas sobre la producción de la UE para el año 2018, el 73% de estos subproductos se reutilizaron como agregados en la construcción y producción de carreteras, pero estos no pueden absorber la cantidad de escoria de acero producida. (p. 1).

Esto da a entender que las estrategias usadas para la reutilización de la escoria acero, debe tener una orientación más amplia, para generar así; un impacto positivo en el ambiente, aprovechando estos subproductos en su totalidad, ya que su aplicación en vías no impacta el ámbito natural, y a la vez permite la utilización de la producción de este residuo.

En este orden de ideas; Sara (2010), citada por Pérez y Silva (Op. cit.), señala que “los últimos datos estadísticos en España, la producción de acero genera un volumen grande de escoria de acero. En el año 2007 se generó 500.000 toneladas de escoria de acero”. (p.1). Estos datos son muy alarmantes ya que no existe un plan para eliminar estos desechos.

De acuerdo lo expresado, la producción de la escoria se ha vuelto una preocupación para las empresas españolas, ya que la producción de dicho

residuo es muy elevada y no se consigue una alternativa para poder deshacerse de ese material, afectando así al medio ambiente y a la población de dicho país.

Por otra parte; en Colombia existe una alta fabricación de acero, por cada tonelada que se origina, se generan de cero comas uno (0,1) a cero comas tres (0,3) toneladas de escoria. De esta manera; según Sánchez (2014), citado por Pérez y Silva (Op. cit.), especifica,

En el año 2012 se produjeron un millón doscientos sesenta y seis mil (1.266.000) toneladas de acero, esta cantidad recuerda que la producción de este material en Colombia es muy voluminosa, por ello se estuvo investigando diferentes diseños para darle una técnica y un uso correcto, percatándonos que existe una alta necesidad de materiales para la construcción de obras viales y la manera de como dañaría este material a nuestro suelo si no es reutilizado. (p.2).

De acuerdo a lo expresado por el autor, Colombia es uno de los países que contiene gran cantidad de residuo de escoria, es por esa razón que ellos han analizado diversas ideas o alternativas, como el empleo de este residuo como material de construcción, ya que existe escasez de material, lo que permitiría evitar la aglomeración de este residuo. De esta manera; existe una necesidad internacional en la protección del medio ambiente con base al impacto que generan estos desechos. Es por esta razón, que nuevas alternativas para la reutilización de este subproducto son necesarias, ya que; promueven un desarrollo sustentable y un aprovechamiento más amplio de todos los sectores de la empresa siderúrgica.

En Venezuela, la presencia de la escoria de acero se encuentra en bajas cantidades, puesto que, según; la Siderúrgica del Orinoco Alfredo Maneiro (SIDOR) ha bajado la producción de acero en los últimos años, generando un bajo nivel de escoria y un impacto ambiental reducido, culminando el año 2018 con una producción de cincuenta mil ciento veinte ocho (50.128)

tonelada, según los datos generados por S&P Global Platts y la Asociación Mundial de Acero.

Actualmente en el estado Barinas, el desarrollo de nuevas alternativas en diseños de mezclas asfálticas se ve necesaria, para impulsar el desarrollo sustentable, puesto que; las mezcla asfáltica está constituida por compuestos orgánicos, que son contaminantes peligrosos con base a aerosoles orgánicos secundarios, que contribuyen aumentar la cantidad de partículas PM_{2,5}(contaminante atmosférico que comprende partículas de menos de dos comas cinco (2,5) micras de diámetro) en el aire ocasionando un importante problema para la salud de la humanidad.

En tal sentido, la perspectiva de este trabajo es comparar las propiedades de la escoria de acero y el agregado grueso en mezclas asfálticas. En función de lo planteado; se generan las siguientes interrogantes: ¿Cuál es la funcionalidad del agregado grueso en mezclas asfálticas según sus propiedades?, ¿Cuáles son las propiedades funcionales de la escoria del acero en mezclas asfálticas?, ¿Es posible comparar la funcionalidad de la escoria del acero en relación a la funcionalidad del agregado grueso en el diseño de mezclas asfálticas?

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

Evaluar el uso de escoria de acero como sustituto del agregado grueso en mezclas asfálticas mediante un análisis comparativo para determinar su funcionalidad.

Objetivos específicos

- Analizar la funcionalidad del agregado grueso en mezclas asfálticas según sus propiedades.
- Identificar las propiedades funcionales de la escoria del acero en mezclas asfálticas.

- Comparar la funcionalidad de la escoria del acero en relación a la funcionalidad del agregado grueso en el diseño de mezclas asfálticas.

Justificación De La Investigación

Para Las mezclas asfálticas a la hora de construir una vía es necesario contar con un diseño óptimo que proporcione las cantidades volumétricas adecuadas, es por esto que el siguiente trabajo de grado se tomó en consideración la utilización de la escoria de acero; de esta manera, al disminuir el uso de recursos naturales se favorece el desarrollo sustentable, por otra parte, reduce el impacto negativo asociado a la degradación ambiental, la biodiversidad o la alteración de paisajes.

El desarrollo de este trabajo de investigación se realizó con la finalidad de aportar una solución innovadora para la sustitución del agregado grueso por otro cuyas propiedades sea equivalente, haciendo uso de la escoria de acero, en mezclas asfálticas. Esto puede generar un valor agregado a la escoria de acero, fomentando un desarrollo sustentable al producir mezclas asfálticas, generando acciones positivas tanto natural al evitar la degradación ambiental.

Línea de investigación

Dentro de las líneas de creación intelectual según el Plan General aprobadas por la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora- UNELLEZ, Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social VPDS-Barinas VPDS-Barinas, **Ambiente y Agro climatológica**, acercándose en un sentido ideal al desarrollo de esta investigación, la cual, promete un aporte alternativo que promueve el uso

de la escoria de acero convencional como agregado en las mezclas asfálticas fomentando el desarrollo sustentable de un sub-producto industrial.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

Esta investigación está planteada en la utilización de la escoria de acero como sustituto del agregado grueso en las mezclas asfálticas, con el fin de generar una solución a través del aprovechamiento de este material, de igual manera; esta base investigativa se logró a través de estudio previos de investigadores anteriores. De tal manera que se determine la funcionalidad de la escoria en la mezcla asfáltica, lo cual; contribuirá al desarrollo sustentable al usar la escoria de acero que se genera en las siderúrgicas o en desechos industriales que usan el acero en sus procesos constructivo.

Delimitaciones

El estudio acá presentado se desarrolla en un lapso de tiempo de veinticuatro semanas, en Barinas, Estado Barinas, (16) las instalaciones de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ), Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social VPDS-Barinas VPDS-Barinas, fungiendo como un antecedente investigativo en próximos trabajos relacionados en el desarrollo de mezclas asfálticas

Limitaciones

Los factores limitantes en el desarrollo de esta investigación se indican a continuación:

1. No se cuenta de laboratorios para la elaboración de los ensayos de muestra.

2. Dificultades en la obtención de la escoria de acero para la elaborar la muestra en el ensayo de laboratorio, por tratarse de una ciudad donde no cuenta con siderúrgica.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Antecedente De La Investigación

Debido a la importancia que conlleva la calidad de empleo de la escoria de acero en el diseño de mezclas asfáltica esto permitirá a mantener la conservación y el mejoramiento del medio ambiente ya que a través de esto podemos realizar la utilización de este recurso como acción trascendental para el desempeño y desarrollo, con la finalidad de obtener información sobre el objeto de investigación, a continuación, se desarrolla una requisición bibliográfica pertinente a investigaciones previas, las cuales; estipulan el soporte teórico de esta investigación, explica sobre ello Álvarez (2020), "La redacción de los antecedentes se emplea para mostrar los distintos hallazgos que se han tenido en estudios previos, tomando en cuenta a las variables de estudio. Es importante considerar principalmente los estudios que han tenido objetivos o metodologías similares" (p.1).

En este sentido, Luis y Silva (2022), en el trabajo que lleva por título "Escoria de acero y su influencia en las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas en caliente ", tiene por objetivo de la investigación determinar la influencia de la adición de escoria de acero en las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas en caliente. En la cual, utilizo el tipo de investigación explicativa y experimental, cuya población se basó en la mezcla asfáltica en caliente, elaborada con agregados gruesos, finos, siderúrgicos y asfalto PEN 60/70. La cual fungieron por muestra cuarenta y cuatro (44) briquetas en total de las cuales veintiocho (28) serán para la mezcla convencional y dieciséis (16) para el diseño de mezclas con diferentes proporciones de escoria de acero.

De tal manera, se determinó que la escoria de acero influye en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente mejorando significativamente las propiedades mecánicas un treinta y dos

punto treinta y cinco por ciento (32.35%) y un ochenta punto veintiocho por ciento (80.28%) en estabilidad y flujo respectivamente, con una dosificación óptima del treinta por ciento (30%) de escoria de acero, asimismo se determinó que las propiedades físicas no presentan mayor variación respecto a la mezcla asfáltica convencional. De tal forma el estudio realizado por estos autores, brinda conocimiento sobre la dosificación de la escoria en el diseño de mezclas asfáltica, para la obtención de una mezcla óptima.

Por otro lado, Pérez y Silva (2021), en el trabajo que lleva por título "Porcentajes de escoria de acero para el diseño de mezcla asfáltica en caliente de la carretera Huaraz - Carhuaz, Ancash". Así mismo tiene como objetivo de la investigación Diseñar la mezcla asfáltica en caliente con porcentajes de escoria de acero para la carretera Huaraz – Carhuaz,. Se utilizó la investigación descriptiva y experimental, la cual, produjo muestras que están conformadas por dieciséis (16) briquetas con diferentes porcentajes de escoria de acero para el diseño de mezclas asfálticas en caliente de la carretera Huaraz - Carhuaz – Ancash, se compilo la información a través de la observación directa a través del ensayo Marshall para la recopilación de información. Concluyendo que, para la evaluación de las mezclas asfálticas, el realizar el ensayo Marshall promueve mejores resultados a comparación de la mezcla asfáltica patrón. Desde la perspectiva general, el anterior proyecto orienta a que las propiedades de la escoria aumentan la estabilidad de las mezclas asfálticas.

Igualmente, plantea Gómez (2019), en el trabajo que lleva titulado "Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas con escoria de horno de arco eléctrico", La cual tiene como objeto de estudio desarrollar un análisis y trabajo experimental a nivel de laboratorio para evaluar el comportamiento de mezclas asfálticas en caliente tipo MDC-19 sustituyendo parcial y totalmente el agregado grueso por escoria de horno de arco eléctrico (EAF). Se utilizo la investigación documental y experimental, conformada por muestras, las cuales generaron la información a través de la observación

directa. Concluyendo que el proceso es totalmente factible debido a que las propiedades físicas y mecánicas de las escorias cumplieron con los parámetros establecidos por las especificaciones del Instituto Nacional de Vías de Colombia en su reglamento vigente para el nivel de tránsito establecido. En tal sentido da como aporte al presente trabajo de investigación, la comprensión técnica del uso de la escoria de acero en el diseño de mezclas asfálticas, así como también las propiedades físicas y mecánicas que presenta.

Bases teóricas

De acuerdo a Arias (1999), constituyen: “Un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado”. Se entiende entonces; que estas orienten teóricamente el tema a estudiar, su concepción y la mención de las teorías relacionadas con el trabajo.

Materiales asfálticos

Según Jugo (2012), “En obras de pavimento se emplea diversos materiales asfálticos en riegos y sellos asfálticos, tratamientos superficiales o como agente cementantes en mezclas”, (p. 50). Por otra parte; los materiales asfálticos más empleadas por el Instituto Venezolano de Asfalto (INVEAS) son los siguientes:

- ❖ Cementos asfálticos
- ❖ Emulsiones asfálticas
- ❖ Asfaltos líquidos (diluidos)

Propiedades De Los Materiales Asfálticos

Cemento asfáltico (Ca):

Es un material de color negro, producido por la refinación de petróleo, constituidos por cadenas de hidrocarburo llamados betune. Es

termoplástico y su consistencia cambia con la temperatura. Cuando se calienta suficientemente se vuelve líquido permitiendo así que, puede ser mezclado con agregados pétreos, al enfriarse se endurece y mantiene las partículas juntas conformando una mezcla estable. La misma es empleada en la producción de mezclas en caliente en planta.

Emulsión Asfáltica (EA)

Es una combinación de cemento asfáltico, agua y un agente emulsificante. Es un sistema heterogéneo en el que el agua es la fase continua de la emulsión y diminutos glóbulos de asfalto, cargados eléctricamente, la fase discontinua. Además, es un producto líquido lo que permite su empleo a temperatura ambiente o con poco calentamiento y es empleada en mezclas en fríos, tratamientos superficiales entre otros.

Asfalto Líquidos:

Consiste en cemento asfáltico diluido mediante la adición de un solvente logrando un producto líquido a temperatura ambiente. Al ser expuesto al medio ambiente el solvente se evapora (proceso de curado) dejando el asfalto como residuo.

El uso de este producto están siendo seriamente debatido y prohibido en muchos países debido al efecto contaminante que producen así.

Mezclas asfálticas

Según la Norma Técnica Fondo, norma 2000- 1:2009, (p.4)," Es un conglomerado de agregados pétreos unido mediante un ligante asfáltico".

De acuerdo a lo expresado, se comprende como mezclas asfálticas a la unión de los agregados minerales pétreos de distinto tamaño con un ligante asfáltico,

Según Padilla (2004): Las mezclas asfálticas se usan en construcciones de vías con la intención de suministrar una superficie de rodamiento apta para soportar el tránsito vehicular. De igual forma, se considerando la

seguridad, comodidad de los individuos que circulan por dicha construcción. (P.40).

De igual manera dependiendo del tipo de mezcla los agregados varían en tamaño, calidad y otras propiedades, el ligante asfáltico puede ser de cemento asfáltico, o asfáltico líquido, bien emulsiones o diluidos (emplea En relación a lo anterior. Es otra palabra está constituido alrededor de un noventa (90%) de agregados gruesos y fino, un cinco (5%) de polvo mineral y otro cinco (5%) de ligante asfáltico, estos valores son considerable para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en algunos de ellos afecta la mezcla, es por esa razón, se tiene diversos aspectos a considerar, entre los cuales son:

Comportamiento de los materiales asfálticos

Según la división de laboratorio de infraestructura mexicana (2005), expresa el comportamiento de los materiales asfálticos como:

❖ Comportamiento del agregado mineral

Los agregados minerales para elaborar la mezcla asfáltica pueden ser naturales, triturados o sintéticos. Los naturales se extraen de depósitos fluviales o glaciares, y utilizados sin ningún procesamiento para elaborar la mezcla asfáltica. Los agregados triturados se explotan en canteras, y reducidos a los tamaños deseados mediante trituración mecánica; mientras que el agregado sintético es un subproducto industrial, como la escoria de altos hornos. Independientemente de la fuente; en los métodos de procesamiento o mineralogía, se espera que el agregado provea un fuerte esqueleto pétreo para resistir aplicaciones de carga repetidas.

❖ Comportamiento del cemento asfáltico

Con respecto al comportamiento de la mezcla asfáltica, las características más importantes del cemento asfáltico son: la susceptibilidad a la temperatura, la visco-elasticidad, y el

envejecimiento. De las tres anteriores, la que sobresale es la susceptibilidad a la temperatura, ya que sus propiedades mensurables dependen de ésta. Asimismo, el tiempo de aplicación de la carga también es importante, puesto que, para una misma carga y un mismo asfalto, los diferentes tiempos de aplicación de la carga implicarán diferentes propiedades. Por ello, los ensayos sobre los cementos asfálticos y mezclas asfálticas deben especificar la temperatura y la velocidad de carga. Sin una temperatura de ensayo y velocidad de carga especificada, el resultado del ensayo no puede ser interpretado como es debido.

❖ **Comportamiento de mezclas asfálticas**

Al respecto; Cepeda (2002): Concluyo como resultado de la naturaleza de la integración de los comportamientos de sus componentes, las mezclas asfálticas presentan un comportamiento visco-elastoplástico. “Por un lado, el agregado pétreo tiene un comportamiento elastoplástico y por el otro, el mastico (asfalto más polvo mineral) tiene un comportamiento viscoelástico. Por lo tanto, las mezclas asfálticas poseen un comportamiento que se puede llamar visco-elástico-plástico”. (p.12)

Agregados De la Mezcla asfáltica

Según Corredor (2011): El agregado es un material mineral duro e inerte usado en forma de partículas fragmentadas como parte de los elementos que integran una mezcla asfáltica; este proporciona la mayoría de las características y propiedades a la mezcla asfáltica, influyendo en el comportamiento del pavimento, es por ello la importancia de la selección apropiada de los agregados. (p. 3-1)

Los agregados pasantes del tamiz #8 son denominados agregados finos o material integral, por lo contrario, el material retenido por el

tamiz #8 es considerado agregado grueso para las mezclas asfálticas.
(p. 3-4)

Tipo De Agregado para Mezclas Asfáltica

Según corredor (2011), clasifica los agregados de la mezcla asfáltica de acuerdo a, como se han producido:

❖ Agregado natural

Son aquellos que son empleado en su forma primitiva, sin ningún tipo de procesamiento. Los fragmentos que lo forman son originados mediante procesos de erosión y degradación. Los principales tipos de agregado natural usado en la fabricación de pavimentos son la grava y la arena. (p. 3-2).

❖ Agregados procesados

Son aquellos que ante de ser utilizado son pasado por procesos de trituración y tamización, con el motivo de cambiar la textura superficial de las partículas, cambiar la forma de las partículas o reducir y mejorar los tamaños de las partículas. (p. 3-2).

❖ Agregados sintéticos

Son el producto de procesos físicos o químicos de materiales. Estos agregados son artificiales, no existen en la naturaleza. (p. 3-2)

Así pues, los tres (3) tipos corresponden al proceso de transformación y el material a utilizar.

Características Deseables del agregado

Independientemente del tipo de mezcla asfáltica, las siguientes propiedades son deseables en los agregados que la constituyen:

- Granulometría y tamaño adecuado.
- Resistencia y durabilidad.
- Forma cúbica.
- Baja porosidad.
- Textura superficial adecuada.
- Buena adherencia.
- Limpieza.

Granulometría y tamaño

Una de las características más importantes de los agregados que afecta la estabilidad y la trabajabilidad de las mezclas es la granulometría. De acuerdo con esta los materiales pueden clasificarse en:

Densamente gradados: Son agregados que contienen cantidades adecuadas de todos los tamaños, de grueso a fino, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con pocos vacíos. Las mezclas densamente gradadas tienen un gran número de puntos de contacto entre partículas, que pueden dar una alta resistencia friccional y reducir la posibilidad de trituración de las partículas en los puntos de contacto. Como el contenido de vacíos es bajo son poco permeables.

Granulometrías abiertas: Son materiales con una gradación incompleta, que contienen menos finos que las densas. El número de puntos de contacto es menor que en éstas y por ello los esfuerzos entre las partículas son superiores.

Granulometrías Discontinuas: Son agregados que presentan discontinuidades o saltos en su gradación. **Granulometrías Uniformes:** Estos materiales están constituidos por agregados de prácticamente un tamaño; y son generalmente utilizados en sellos y tratamientos superficiales

Resistencia y durabilidad

Los agregados deben ser lo suficientemente estables ante los efectos de manipuleo y compactación en las etapas de construcción y ante los esfuerzos impuestos por las cargas en el período de acción bajo el tráfico. Estos tienden a triturar y a degradar las partículas. La habilidad de un material para mantener su granulometría original ante ellos, se define como resistencia.

Deben ser resistentes a la disgregabilidad, es decir a la acción química que produce la rotura y degradación de las partículas, lo cual normalmente sucede y acelera en la presencia de agua.

Forma de las partículas.

La estabilidad de las mezclas depende en un grado muy alto, de la trabazón de los agregados. Las mayores estabilidades se alcanzan cuando las partículas tienen forma cúbica u octaédrica, es decir “angular”, debido a que oponen mayor resistencia a su desplazamiento ante el efecto de una carga.

Las partículas alargadas o planas son indeseables, ya que aun cuando resisten el manipuleo, tienden a romperse y degradarse bajo los efectos de la compactación y del tráfico; por esta razón las normas limitan su contenido a porcentajes bajos

Los agregados con partículas de forma redondeada son de más fácil compactación, con lo que se logran, aparentemente mayores zonas de contacto entre las mismas. Obteniéndose mayor estabilidad, pero debido a su forma, son muy susceptibles a “rodar” o desplazarse al ser sometidas al tráfico, es decir a largo plazo tienden a deformarse.

Textura superficial

Se considera que la textura superficial (rugosidad) de los agregados es el principal contribuyente en la resistencia de las mezclas asfálticas a su deformación (llamada estabilidad), debido a la fricción que se desarrolla entre las diversas partículas como consecuencia del grado de textura que presentan los granos.

La textura es más importante que la angularidad del agregado en la estabilidad de una mezcla, lo cual se atribuye a que, entre las partículas, más que “puntos de contacto” existen “zonas de contacto” y por ello, mientras más rugosa es su superficie más difícil es el desplazamiento de una sobre otra. Adicionalmente, una superficie pulida presenta poca habilidad para mantener la película de asfalto adherida al agregado.

Cuando una grava se tritura, alcanza una mayor estabilidad, no sólo por la angularidad que se logra en las partículas, sino por la microrugosidad que tienen las caras fracturadas.

Porosidad

Se define como la propiedad de absorción de asfalto que tienen los agregados. Es conveniente que estos sean algo porosos, para que el asfalto “penetre” dentro de ellos y se adhiera mecánicamente a las partículas, lo cual ayuda a evitar el desplazamiento de las mismas ante el efecto de las cargas, y a la pérdida de ella ante la presencia y efecto del agua. Los agregados muy porosos, sin embargo, al absorber mucho asfalto, requieren contenidos muy elevados de ligante para mantener su contenido efectivo, lo cual puede resultar antieconómico.

Adherencia

Es la propiedad de un agregado para mantener sobre él la película de asfalto añadida. Depende no sólo del agregado, su textura y composición química, también en parte importante del asfalto en sí. Para que una mezcla

sea durable, debe existir una buena adherencia entre el agregado y el asfalto, para que se evite la separación de la película de asfalto en presencia de agua.

Limpieza Los agregados gruesos

Deben estar limpios, sin partículas de polvo o arcillas que los recubran, ya que esto afecta negativamente la efectiva adherencia del asfalto.

Ensayos Para Determinación De La Caracterización De Agregados

Prueba De Abrasión De Los Ángeles:

Este ensayo se realiza para determinar la medida de degradación de un agregado mineral de graduación estándar. En el cual, es una combinación de acciones incluyendo la abrasión o desgaste, impacto y trituración en un tambor de acero rotatorio que contiene un número específico de esfera de acero, dependiendo en número de la granulometría de la muestra de ensayo. Al girar el tambor, el plato de la repisa recoge el espécimen de ensayo y las esferas de acero, cargándola al redor. de igual forma, El desgaste máximo permisible es de 35%.

Prueba De Desintegración Al Sulfato De Sodio

Se realiza mediante inmersiones del agregado en una solución de sulfato de sodio o de magnesio y posteriormente el material es secado en un horno. Las fuerzas internas derivadas de la constante rehidratación del material simulan la expansión del agua en casos de lluvia o estados de congelamiento.

Pruebas De Partículas Planas Y Alargadas

Consiste en toma una muestra para el ensayo por medio de cuarteo del material total recibido. Seguidamente de las muestras obtenidas por el cuarteo se separan por los tamices 1 ½ “a 3/8” descartando el material retenido en el tamiz 1 ½” y pasante al tamiz 3/8”. Se debe pesar la muestra

a ensayar y dicho peso se registra como peso total de la muestra. Se extiende la muestra en un área suficientemente grande, para visualizar las partículas alargadas y planas del agregado, Se debe medir el largo de la partícula con un vernier. Se debe medir el espesor de la partícula con un vernier El resultado del ensayo se expresa como el porcentaje de partículas cuya dimensión máxima y mínima sea mayor de 5. El porcentaje máximo permisible de partículas planas y alargadas es de 8%.

Prueba De Gravedad Especifica

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (no incluye el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad especifica), y la absorción del agregado grueso. Esta prueba consiste en que muestra de agregado es sumergida en agua por aproximadamente 24 ± 4 horas para esencialmente llenar los poros. Después la muestra se retira del agua, se seca la superficie de las partículas y se determina su masa Enseguida el volumen de la muestra se determina por el método de desplazamiento de agua. Finalmente, la muestra se seca en el horno y se determina su masa. Usando las masas obtenidas y las fórmulas de este método de prueba, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad especifica) y la absorción.

Prueba Equivalente De Arena

Esta prueba se realiza únicamente a agregados que pasan el tamiz N 4. el término equivalente de arena se refiere a que la mayoría de suelos granulares, así como agregados finos, son una mezcla de partículas de arena y generalmente partículas indeseables de arcilla, finos y polvo. para su utilización en pavimentos asfálticos, el agregado debe tener como mínimo un 35% de equivalente de arena.

Prueba De Índice Plástico

Este ensayo se utiliza para determinar el contenido de agua en suelos o agregados, de acuerdo al cual el suelo o agregado pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para su uso en carreteras, es permisible hasta un máximo de 4% como límite plástico.

Tipos de mezclas asfálticas

Existen diferentes tipos de mezclas asfálticas, tanto en caliente como frío. Las mezclas en caliente son producidas en plantas mientras que la mezclas en frío pueden lograrse en patios de mezclados, sobre la propia vía o en planta. Por otra parte, hay distintos tipos de mezclas en función de los agregados empleados, en especial la gradación. Actualmente la mezcla más empleada son mezclas densas, con bajo contenido de vacíos. Además, existen mezclas abiertas, drenantes, de granulometría discontinua y otras menos usadas. En Venezuela se emplean básicamente las mezclas densas. Por su parte las normas COVENIN consideran los siguientes tipos de mezclas:

Código	Tipos De Mezclas
12.4	Pavimento de arena-asfalto en frío (AAF)
12.6	Pavimento de mezcla en frío densamente gradadas
12.10	Concreto asfáltico (CA)
12.11	Base asfáltica en caliente (BAC)
12.18	Arenas asfáltó en caliente (AAC)

Propiedades De Las Mezclas Asfálticas

Se han creado fundamentalmente con el propósito de ser empleadas en pavimentos, la misma tienen propiedades específicas en función del tipo de agrega y ligante empleado, así como de las propiedades de los

componentes y su dosificación en la mezcla.

Entre las propiedades de las mezclas asfálticas están:

- Estabilidad (resistencia, rigidez)
- Flexibilidad
- Durabilidad (resistencia al medio ambiente y humedad)
- Trabajabilidad
- Impermeabilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia a la deformación permanente
- Fricción (en capas de rodamiento o desgaste)

Algunas propiedades se encuentran en conflicto. Por ejemplo, una mezcla no puede ser rígida y flexible a la vez, por lo que se requiere una optimización de las propiedades al momento de seleccionar el tipo de mezcla más adecuada para una vía o una determinada capa de pavimento.

Procedimientos Del Diseño De Mezclas Asfáltica

Tienen como propósito evaluar sus propiedades con el fin de apoyar la selección de la mezcla óptima para cada uso. Las propiedades deseables de toda mezcla son:

- ❖ **Durabilidad:** Resistencia al medio ambiente, a la oxidación y disgregación.
- ❖ **Resistencia A La Fatiga:** Buen comportamiento ante los esfuerzos de tracción inducidos por la repetición de cargas. Estos esfuerzos son críticos en la parte inferior de la capa.
- ❖ **Resistencia A La Deformación Permanente:** Estabilidad y rigidez para soportar cargas sin acumular deformaciones excesivas.
- ❖ **Resistencia A La Fatiga Térmica:** El buen comportamiento ante los cambios constantes de temperatura que provocan agrietamientos. Esta propiedad es una de la más difícil de controlar en el diseño.

- ❖ **Buena Fricción:** Requerida en las capas de desgaste o rodamiento para ofrecer seguridad en la operación de vehículos, especialmente en superficie húmedas.
- ❖ **Costos razonables:** Aspecto deseable en toda obra de ingeniería civil
- ❖ **Trabajabilidad:** Adecuadas propiedades para extendido y compactación.

Todas estas propiedades dependen fundamentalmente de los agregados empelados y el tipo de cantidad de ligante y pueden ser evaluadas, directas o indirectamente mediante el método de Marshall.

Clasificación De La Mezcla Asfáltica Según Su Granulometría.

La Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), define que las mezclas asfálticas se clasifican en dos tipos según la granulometría del agregado

- ✓ Mezclas asfálticas de granulometría densa (ver tabla 1).
- ✓ Mezclas asfálticas de granulometría abierta (ver tabla 2).

**Tabla 1. Porcentaje En Peso De Material Que Pasa Los Cedazos,
Granulometría Densa**

Cedazo	Tipo I Rodam.	Tipo II Rodam.	Tipo III Rodam.	Tipo IV Rodam. o intermed.	Tipo IV Intermed. o base
1 ½"					100
1"				100	80-100
¾"	100		100	80-100	70-90
½"	85-100	100	80-100		
"		80-100	70-90	60-80	55-75
N°4	65-80	50-75	50-70	48-65	45-62
N°8	50-65	35-50	35-50	35-50	35-50
N°30	25-40	18-29	18-29	19-30	19-30
N°50	18-30	13-23	13-23	13-23	13-23
N°100	10-20	8-16	8-16	7-15	7-15
N°200	3-10	4-10	4-10	2-8	2-8

Nota: Tomado de Norma COVENIN 2000:1987, (p.152), Venezuela.

**Tabla 2. Porcentaje En Peso De Material Que Pasa Los Cedazos,
Granulometría Abierta.**

Cedazo	Tipo I Rodam.	Tipo II Rodam.	Tipo III Rodam.	Tipo IV Rodam. o intermed.	Tipo IV Intermed. o base
1 ½"					100
1"				100	75-100
¾"		100	100	75-100	60-85
½"	100	75-100	75-100		
"	75-100	60-85	60-85	45-70	40-65
N°4	35-55	35-55	30-50	30-50	10-50
N°8	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35
N°30	10-22	10-22	5-20	5-20	5-20
N°50	6-16	6-16	3-12	3-12	3-12
N°100	4-12	4-12	2-8	2-8	2-8
N°200	2-8	2-8	0-6	0-6	0-6

Nota: Tomado de Norma COVENIN 2000:1987, (p.152), Venezuela.

Método De Marshall Para El Diseño De Mezclas

Este método ha sido empleado en Venezuela durante muchos años tanto para el diseño como el control de calidad diario en obras. Se emplea para

mezcla en caliente que usan cemento asfáltico como ligante y agregados con tamaño máximo de veinticinco (25) mm y una pulgada (1"). En diseño, el objetivo es determinar el porcentaje (%) óptimo de ligante en la mezcla producida con una gradación específica mediante el análisis de curvas de diseño, que representa en función de distintos contenidos de ligante, las siguientes propiedades:

Análisis Volumétricos

- 1. Densidad:** Es el peso unitario de un volumen específico de mezcla compactada generalmente se expresa en kg/m³, se determina mediante un ensayo de laboratorio
- 2. % de vacíos totales:** Según lo establecido en la norma ASTM D3203-05 "Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures", la determinación de los vacíos totales de la mezcla asfáltica, viene dada a partir del cálculo de distintos valores iniciales como lo son los vacíos en el agregado mineral y los vacíos llenados con asfalto, expresados en un porcentaje de su volumen en función del volumen total de la mezcla compactada.

El porcentaje de vacíos totales se establece en la ecuación que se especifica a continuación:

$$\% Vt = 100. \left(1 - \frac{PU}{Gmm} \right)$$

Dónde:

- %Vt: Porcentaje de vacíos totales de la muestra.
- PU: Peso unitario de la muestra.
- Gmm: Peso específico máximo de la muestra

Según, la norma (2007) indica que: “Las mezclas en laboratorio debe tener de tres a cinco por ciento (3 a 5%) de vacíos para capas de rodamiento, y dos a cuatro por ciento (2 a 4%) para capa o bases intermedia”.

3. VAM (% de vacíos en el agregado mineral): Se define como el volumen existente entre las partículas de agregados en una mezcla compactada, expresada en % de volumen. En otra palabra, son el volumen ocupado por el ligante asfáltico y los vacíos totales.

$$\% Vt = 100. \left(1 - \frac{PU. \% ag}{Gmm} \right)$$

Donde

- %VAM: Porcentaje de vacíos en el agregado mineral de la muestra.
- PU: Peso unitario de la muestra.
- %ag: Porcentajes de agregado mineral de la muestra.
- Gmm: Peso específico máximo de la muestra.

De igual forma, el parámetro de % de vacío y VAM son importante en el comportamiento y durabilidad de una mezcla en servicio.

Evaluación de resistencia

❖ Estabilidad

Es un indicador de resistencia mecánicas, que se interpreta como resistencia a la deformación o rigidez de una mezcla, se determina a sesenta grados Celsius (60°C), incumbe a la máxima carga necesaria en libra (lbs) para hacer fallar una briqueta.

❖ Flujo

Indicado de deformabilidad, se determina como la deformación que

sufre la briqueta en la prueba de estabilidad, se mide en pulg/100.

Porcentaje de vacíos

Las mezclas asfálticas con menor porcentaje de vacíos tienen una mayor vida a la fatiga, en el caso de la deformación permanente sucede lo contrario; para mezclas con porcentajes de vacíos menores al 3 %, la susceptibilidad a la deformación permanente es mayor.

Granulometría

Aunque la influencia del tamaño máximo del agregado no sea tan notable como el contenido de asfalto, la curva granulométrica puede influir a través de dos factores: el tamaño máximo del agregado y el tipo de curva, que puede ser continua o discontinua. Estos dos factores tienen influencia en el porcentaje de vacíos y, por ende, sobre la resistencia a la fatiga y la deformación permanente. El porcentaje de vacíos del agregado mineral varía en función de la curva granulométrica. Para una curva más cercana a la línea de potencia 0,45 (curva de máxima densidad, llamada de Fuller), el porcentaje de vacíos es más bajo y la compacidad más fuerte.

Forma y textura del agregado

Son factores que también afectan la compacidad. Los agregados angulosos, con superficies rugosas, son frecuentemente más difíciles de compactar, lo que lleva a un menor volumen de vacíos para una misma energía de compactación, y en consecuencia un módulo de rigidez más bajo.

Procedimiento De Ensayo

Se muestra en forma resumida los pasos del diseño

- ❖ Se selecciona una muestra representativa de los agregados a evaluar
- ❖ Determina la gradación, mediante granulometría lavada y peso específico de cada agregado
- ❖ Preparar las pesadas para cada briqueta, la cuales deben ser idénticas ya que solo se quiere evaluar la variación de % de ligante
- ❖ Calentar los materiales de acuerdo al procedimiento de ensayo, mezclar y compactar las briquetas
- ❖ Determinar la densidad de la briqueta
- ❖ Calcular el % de vacíos y VAM de las mezclas
- ❖ Calentar las briquetas en agua a 60 C por 30 minutos, y ensayar para determinar la estabilidad y flujo.
- ❖ Preparar los gráficos para cada propiedad en función a la variación de vacíos en contenidos asfalto

Uso

Según, Rodríguez (2004): “Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta”. (p.40)

Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un firme:

1. La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
2. La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten

seguras y confortables. A estas capas superiores de le denomina pavimento.

Escoria de acero

Según, Segura (2016): La escoria es un subproducto que se origina del arrabio y se procesa en hornos siderúrgicos. Se obtiene a lo largo de la separación del acero fundido de impurezas (se solidificará el silicato y el óxido al enfriarse).

La escoria tiene un excelente rendimiento cuando se usa como tratamiento superficial, donde: su coeficiente de fricción es alto y permanente; proporciona un mayor agarre entre el pavimento y los neumáticos del vehículo, por lo tanto, hay menos posibilidades de patinar; el permanente color negro produce una mayor visibilidad a los conductores; tiene una excelente afinidad por el asfalto, en otras palabras, la adherencia no se desprenderá de la superficie tratada; la compatibilidad con cualquier tipo de asfalto, desde la emulsión de cemento asfáltico; alta resistencia al pulimento, garantiza la forma irregular y la textura rugosa, su utilidad es la adherencia al pavimento.(p.11).

Esta definición explica que, la escoria del acero es un subproducto del acero generado en las siderúrgicas o de la manipulación de este metal, puede presentarse en varias formas, de tal manera, lograr una manipulación beneficiosa. De tal manera, se determina que sus características proporcionan en las vialidades (en el asfalto de las vías), un desarrollo sustentable y generoso con el ambiente al reutilizar la escoria.

Tipos de escorias

Las escorias ferrosas son aquellas que se generan durante la producción y fundición de hierro y acero. Estas se pueden clasificar según el tipo de horno. De igual manera, Las propiedades de la escoria dependen del proceso para producir el acero crudo, de las condiciones de enfriamiento de esta y de los procedimientos adicionales a realizar para darle un valor agregado al residuo.

Según, Méndez (2011), determina que son:

❖ Escoria De Horno Alto:

El horno alto es un horno de cuba en el que se introduce un gas reductor a presión (generalmente CO) por la parte inferior, y una carga de materia constituida por minerales de hierro, coque y fundentes por la parte superior, separándose dos productos: el hierro y las impurezas con los fundentes (ESCORIA PRIMARIA), que van evolucionando en su composición hasta llegar a la parte baja del horno (crisol), formándose los dos productos finales: arrabio y escoria

❖ Escoria Cristalizada:

Propiedades de la escoria cristalizada:

Físicas: material pétreo de características similares a las rocas ígneas de origen volcánico. Material de gran porosidad (que favorece el drenaje y la reactividad química). De textura rugosa.

Químicas: constituidas en un 95% por los siguientes óxidos: cal, sílice, alúmina y magnesia. Para la escoria procedente de un determinado horno, la composición es bastante constante con el tiempo. La principal característica a tener en cuenta es la

denominada INESTABILIDAD debida al disilicato de calcio (este compuesto no se forma en cantidades significativas si la relación entre CaO y MgO a SiO₂ permanece por debajo de ciertos límites., y la inestabilidad debida a la reacción de los compuestos de 8 hierro. Habrá que tener definidos estos parámetros para el uso que se la vaya a dar a la escoria. Mecánicas: es un material con una gran estabilidad mecánica, facilidad de compactación y excelente comportamiento drenante.

Figura 1: Escoria Cristalizada



Fuente: Edersa S.A. (2016)

❖ Escoria Granulada:

La escoria granulada se obtiene por enfriamiento brusco de la escoria líquida, dejándola caer sobre un potente chorro de agua fría, de forma que expanda y sirviendo el propio chorro como vehículo de transporte hasta las balsas de 10 decantaciones. Este proceso se denomina granulación, porque la escoria se descompone en pequeñas

partículas más o menos alveolares con aristas cortantes, obteniéndose un producto similar a una arena. La granulación vitrifica la escoria, convirtiéndola en un sólido cuyas moléculas no han tenido tiempo de orientarse al estado cristalino por la rapidez del enfriamiento.

Figura 2: Escoria Granulada



Fuente: Cedex (2013)

❖ **Escoria De Acería De Horno De Arco Eléctrico:**

La principal materia prima empleada para la fabricación de acero en horno de arco eléctrico es la chatarra de hierro dulce o acero. Como elementos auxiliares se pueden cargar también pequeñas cantidades de fundición, de mineral de hierro y de ferroaleaciones.

La etapa de fusión incluye una serie de fases como la oxidación, dirigida a eliminar impurezas de manganeso y silicio, la de fosforación y la formación de escoria espumante en la que se acumulan todas las impurezas. Al final de todas estas fases se extraen las escorias negras.

❖ Escorias blancas:

Las escorias blancas, procedentes de la fase de afino, se caracterizan por su contenido en metales pesados como: cromo, zinc o plomo (inferior al 1%) y el reducido tamaño de sus partículas.

- ❖ Escorias negras: Mediante el proceso de fusión en el horno de arco eléctrico se obtiene acero líquido y, nadando sobre su superficie, escoria negra, que se extrae por una de las puertas del horno. La composición química de la escoria está condicionada por el tipo de chatarra utilizada, el control de las variables de operación, etc.

Por lo tanto, se logra entender que los tipos de escoria de acero son determinados por la cantidad de metales que se usan en la fundición, el tipo de horno, la textura y el color que se produzca al generar el producto principal.

Características Físicas De La Escoria De Acero

Según, SEGURA, (2016): “Una de las propiedades destacables es que la escoria de acero no se puede oxidar, ya que, de acuerdo a la definición nos dice que es una “mezcla de óxidos y silicatos fundidos”, por lo tanto, la oxidación ya se terminó. Por su textura rugosa y angular fabrican superficies de rodamiento anti-derrapantes (lo utilizan en sellos y tratamientos superficiales). Tiene la capacidad de retener calor la escoria de acero”. (p.13).

Así pues, se expresa que la escoria de acero es un material en la cual ha llegado a su etapa de oxidación. De igual forma debido a su textura rugosa y angular impide que se patine los autos proporcionando esta característica con el tiempo. De igual manera, cada partícula es de naturaleza vesicular, con muchas celdas no intercomunicada.

Utilidad De La Escoria De Acero

La escoria de acero tiene muchos usos en diferentes materiales de la construcción, se puede destacar, que en diversos países ya se halla incluido en las descripciones de la construcción vial ya sea para capas bases y pavimentos asfáltico, en pistas de aterrizaje de aeropuertos entre otras, así como también; en quipos de construcción que se utilizan para cualquier agregado, dando así excelentes resultados.

Bases Legales

La presente investigación enmarcó sus estudios en la verificación técnica de sustitución del agregado grueso por escoria de acero en mezclas asfálticas, haciendo uso de un marco legal el cual se establece a continuación:

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela; Capítulo IX - de los Derechos Ambientales, Publicada en Gaceta Oficial del jueves 30 de diciembre de 1999, N° 36.860, artículo 127:

Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica.

En esta ley presentada nos ampara para disminuir la contaminación ambiental, como también a innovar nuevas técnicas de aplicación de materiales reciclajes.

Así pues, se logra establecer con esta alternativa sustentable para el

medio ambiente y el sector productivo del diseño de mezclas asfálticas a reutilizar la escoria de acero, la cual, por sí solo, supone un impacto ambiental y por lo tanto, un riesgo para el medio ambiente y el ser humano, al entrar en contacto con este material toxico al contacto producto de la oxidación gradual de dicho metal.

A continuación, se especifica la normativa utilizada para realizar los ensayos correspondientes a la determinación de las propiedades de los agregados:

- NORMAS ASTM Y COVENIN PARA AGREGADOS GRUESOS

- Norma Venezolana COVENIN 269-1998 Agregado Grueso. Determinación de la densidad y la absorción.
- Norma Venezolana COVENIN 263-1978. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.
- Norma Venezolana COVENIN 255-1998. Agregados. Determinación de la composición granulométrica.
- Granulometría ASTM C-136 (Método Estándar Para El Análisis De Agregados Por Tamizado): Esta Norma Cubre La Determinación De La Distribución Del Agregado Fino Y Grueso Por Tamizado.
- Gravedad Específica ASTM C-127, C-128 (Método Estándar Para Determinar La Gravedad Específica Y El Porcentaje De Absorción de agregado fino y grueso): Esta norma cubre la determinación de la gravedad específica y absorción de agregados.
- Prueba de Abrasión ASTM C-131, C-535 (AASHTO T-96) (Resistencia

del agregado a la degradación por abrasión e impacto por medio de la máquina de los Ángeles): Esta norma cubre el procedimiento para evaluar el desgaste para agregados finos y gruesos.

- Partículas planas y Alargadas ASTM D-4791 (Partículas planas y alargadas en agregados): Esta norma cubre el procedimiento para evaluar el porcentaje de partículas planas y alargadas en una muestra de agregado.

- **NORMAS ASTM Y COVENIN PARA AGREGADOS FINOS**

- Equivalente de Arena AASHTO T-176 (Método de prueba estándar para el valor de equivalente de arena en suelos y agregados fino): Esta norma cubre el procedimiento para conocer la relación de material arcilloso o fino en una fracción del agregado
- índice Plástico AASHTO T-90 (Método de prueba estándar para determinar el valor de índice plástico en suelos granulares y agregados finos)
- Desintegración al sulfato de Sodio AASHTO T-104 (Desintegración de agregados utilizando sulfato de sodio o de magnesio): Esta norma cubre el procedimiento para evaluar la desintegración del agregado cuando es sometido a efectos climáticos.
- Norma Técnica Fondo norma 2000-1:2009, Carreteras, autopistas y vías urbanas. Especificaciones y Mediciones:

Estas especificaciones permitieron verificar la veracidad de la implementación de escoria de acero como sustituto del agregado grueso en mezclas asfálticas, conforme a lo establecido a lo largo de sus capítulos

referente a los parámetros normativos exigidos para mezclas asfálticas; resultando así la principal base legal de la investigación.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico es el procedimiento a seguir para alcanzar el objetivo de la investigación, está compuesto por el diseño, tipo, y la modalidad de la investigación, fases de la investigación, población, técnicas e instrumentos de recolección de datos, validación del instrumento y análisis de los resultados. Según, Arias (2012) expone que “la metodología del proyecto incluye el tipo de investigación, las técnicas y los procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “como” se realizará el estudio para responder al problema” (p.110).

Naturaleza de la Investigación

La presente investigación tiene como propósito llevar a cabo el estudio llamado: “Escoria de acero como sustituto del agregado grueso en el diseño de mezclas asfálticas”, se desarrollará bajo un alcance correlacional, apoyado en el paradigma de enfoque cualitativo que, según Salamanca y Martín-Crespo (2007), expresan que con este tipo de investigación “se pretende conocer el fenómeno que estudia desde su entorno natural, siendo el propio investigador el principal instrumento para la generación y recogida de datos, con los que interactúa.” (s/n)

Diseño de la Investigación

En este mismo orden de ideas, el diseño de la presente investigación es un diseño no experimental el cual es definido por Palella y Martins (2006) como: “aquel que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. Se observa los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos”. (p.253).

Es decir, las variables planteadas no son manipuladas, lo que imposibilita la influencia para cambiarlas, por lo que se toma el hecho tal como se presenta.

Tipo de Investigación

La investigación que acá se presenta es de tipo aplicada, según, Tamayo y Tamayo (2006), describe que: “la forma de investigación aplicada se denomina también activa o dinámica, encuentra ligada a la pura ya que depende de su descubrimiento y aportes teóricos; es el estudio o aplicación de la investigación a problemas concretos”. Pág. 2136, así pues, está basada en conocimientos antepuestos, y a su vez; en la generación de otros, por lo que estipulara nuevos resultados según la realidad del proyecto. Igualmente; se toma como exploratoria, según Fidias, (2006. p 23) la define como: “Es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir un nivel superficial de conocimiento”. Entonces, al extraer antecedentes de tipo general, expresar datos cuantitativos y explorar la temática que se estudia, sin abordar el problema en profundidad. De este modo, entre los tipos de investigación se pueden encontrar: Exploratoria, Descriptiva y Explicativa.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En la investigación, la recolección de los datos es prioritaria para el estudio, en relación a la técnica, se debe determinar la manera de recopilar la información que requiere para realizar el estudio, debido a que de la adecuada recolección de datos depende la construcción objetiva del instrumento con el cual se va a recolectar la información.

En relación a lo descrito en el párrafo anterior; se tiene que las técnicas de recolección de datos, también conocidas como métodos de recolección de datos, son los procedimientos o formas determinadas utilizadas para obtener la información que tendrá que procesarse en la investigación, según Hernández, Fernández y Baptista (2014) “Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o

información”. (p.216), según este propósito; la técnica que se utilizó para la recolección de datos es la de la encuesta.

I. Investigación Documental

Según Bavaresco (2002, pag 26, 27) “la investigación documental constituye prácticamente la investigación que da inicio a casi todas las demás por cuanto permite un conocimiento previo o bien del soporte documental o bibliográfico vinculado al tema, objeto de estudio, conociendo los antecedentes y quien han escrito sobre el tema”. De igual forma Fideas Arias (2006) define como: “la investigación documental es el proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas”. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

Partiendo de lo anterior expuesto, en la presente investigación se usaron referencias bibliográficas electrónicas como: documentos de internet (sitios web, publicaciones en línea), publicaciones no periódicas en línea (libros, informes, tesis) y documentos obtenidos a través de correo electrónico, relacionados con la escoria de acero como sustituto del agregado gruesos en el diseño de mezclas asfáltica, sus propiedades, característica, pruebas de laboratorio, entre otros, para su posterior análisis en este presente trabajo. De igual forma el instrumento a emplear es cuadro demostrativo de estudios previos.

Cuadro N° 3. Operacionalización de las Variables

Objetivo General: Evaluar el uso de escoria de acero como sustituto del agregado grueso en mezclas asfálticas mediante un análisis comparativo para determinar su funcionalidad.

Objetivos específicos	Variables	Definición	Dimensión	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
<p>Analizar la funcionalidad del agregado grueso en mezclas asfálticas según sus propiedades</p> <p>Identificar las propiedades funcionales de la escoria del acero en mezclas asfálticas según sus propiedades.</p>	La escoria de acero	<p>La escoria es un subproducto que se origina del arrabio y se procesa en hornos siderúrgicos. Se obtiene a lo largo de la separación del acero fundido de impureza (se solidificará el silicato y el óxido al enfriarse). Segura (2016). p 11</p>	Dimensión ambiental	Impacto reciclar	<p>Cuadro comparativo</p> <p>Documento</p>	<p>Investigaciones previas</p> <p>Ensayos de Laboratorios</p>
Comparar la funcionalidad de la escoria del acero en relación a la funcionalidad del agregado grueso en el diseño de mezclas asfálticas.	Mezclas asfálticas	<p>La mezcla asfáltica está formada por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato. Se produce en centrales fijas o móviles, y se transportan después a la obra y allí se extienden y compacta. Pérez E. (2011). p11</p>	Dimensión practica	Material Agregados	Diseño de mezcla Asfáltica	<p>Investigaciones previas</p> <p>Ensayos de Laboratorios</p>

Fuente (Barrios, Briceño).2023

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo se relaciona con la comparación, discusión y análisis de los resultados obtenidos mediante el estudio comparativo, correspondiente a la escoria de acero como sustituto de agregado grueso en mezclas asfálticas, donde se consideró como base referencial a los documentos de diferentes autores, los cuales; demostraron a través de ensayo de laboratorio la funcionalidad de la escoria de acero como sustituto de agregado grueso en las mezclas asfálticas en relación a sus propiedades y a través del diseño de mezclas asfáltica por el método de Marshall, considerando así cada uno de los rangos usados según los parámetros volumétricos a emplear para un diseño de una mezcla óptima

Estudio comparativo

Según, Pérez Edgar (2008) en su trabajo titulado "Evaluación De La Escoria De Horno Como Agregado En Mezclas Asfálticas", desarrollo en el laboratorio un diseño de mezcla asfáltica en la cual sustituyo agregado grueso por porcentaje de escoria.

Muestreo

Se realizó en las instalaciones de la planta de SIDEGUA en los apilamientos de Multiserv S.A., el material muestreado fue escoria de acería tamaño $\frac{3}{4}$ " a 0" (presentación comercial). Además, se utilizaron agregados de AGREGUA (Agregados de Guatemala) de su planta Palín Oeste. El muestreo de los mismos se realizó en los apilamientos de ASFALGUA (Asfaltos de Guatemala).

Caracterización de materiales

- **Cemento asfáltico**

Es de tipo AC-20 clasificado según su viscosidad, extraído de la refinería La libertad ubicada en el municipio de La Libertad en el departamento de Petén y comercializado por la empresa ProIn Asfaltos.

- **Agregados**

Las pruebas realizadas están dentro de las ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y PUENTES, 2001 sección 401 “pavimentos de concreto asfáltico en caliente”, reguladas por la Dirección General de Caminos, están normadas por AASHTO y ASTM. Se realizaron en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos y en el Laboratorio de Asfaltos de Guatemala.

- **Agregados tradicionales**

Son de tipo basáltico, triturados en la planta Palín Oeste de AGREGUA. Estos agregados son utilizados por ASFALGUA para hacer mezclas asfálticas. Se caracterizaron las presentaciones de 3/8” a 0”, 1” a No. 56 y 3/8 lavado. Para su caracterización se mezclaron en proporción de sesenta por ciento (60%), de treinta por ciento (30%) y diez por ciento (10%), luego esta combinación se utilizó en una mezcla asfáltica.

- **Escoria de acería.**

Proveniente de la planta de SIDEGUA, es de textura porosa, color café oscuro, con peso mayor al de los agregados tradicionales, no tiene plasticidad, y tiene forma cúbica.

- **Diseño de mezclas asfálticas.**

Se diseñaron 3 mezclas asfálticas con diferentes proporciones escoria agregado tradicional. Las mezclas se diseñaron de acuerdo al método Marshall, ya que este es el indicado por la Dirección General de Caminos.

Los tres diseños son de TMN (tamaño máximo nominal) 19 mm, ya que este es el que mejor se ajusta a la granulometría de la escoria, pues la misma se encuentra en el rango de esa gradación.

- **Combinaciones**

Se diseñaron 3 mezclas con las siguientes proporciones:

Tabla 4. Combinaciones de agregado en mezclas

COMBINACION DE AGREGADOS EN LA MEZCLA		
Tipo de mezcla	% Escoria.	% Agregado Tradicional.
A	100	0
B	70	30
C	0	100

Fuente: Pérez Edgar (2008). P41

Resultados

Agregados.

Tabla 5. Resultados caracterización de agregados

Prueba	Resultado		Especificación
	Escoria	Agregado tradicional	
Abrasión De Los Ángeles % ASTM C-131	24.10	21.04	35 % Max.
Desintegración al sulfato de sodio % ASTM C-88	0.36	4.69	12% Max.
Partículas planas y alargadas % ASTM D-4791	3.00	2.36	8% Max.

Gravedad Especifica ASTM C-128 Y C-127	3.16	2.63	***
Equivalente De Arena % AASHTO T-176	76.0	77.5	35 % Max.
Índice plástico AASHTO T-90	NA	NA	4 % Max.
Granulometría ASTM C-136	No cumple especificación	Cumple especificación	***
Absorción ASTM C-128 Y C-127	2.97	0.9	***

Fuente: Pérez Edgar (2008). P43

En cuanto a la tabla de los agregados se puede analizar que ambos materiales utilizados como agregado cumplen con la prueba de abrasión de la escoria de veinticuatro punto diez por ciento (24.10 %) y el agregado veinte uno punto cuatro por ciento (21.04 %), considerando un parámetro de treinta y cinco por ciento (35%)Max, se puede observar que la escoria tiene un tres punto seis por ciento (3.06%) de mayor desgaste que el agregado grueso. Seguidamente la desintegración al sulfato de sodio en el caso de la escoria tiene cero puntos treinta y seis por ciento (0.36%) y en el agregado tradicional es de cuatro puntos sesenta y nueve por ciento (4.69%), siendo el parámetro de doces por ciento (12%) Max. Siendo la escoria más contribuyente a la desintegración producida por los efectos climáticos o meteorización del suelo en unos cuatro puntos treinta y tres (4.33%).

De igual forma; según la prueba de partículas planas y alargadas, la escoria tienes un tres por ciento (3%) y el agregado unos dos puntos treinta y seis por ciento (2.36%), teniendo la del agregado un índice de aplanamiento y alargamiento menor a la de la escoria, con un cero punto sesenta y cuatro por ciento (0.64%), estos resultados tienen influencia en la durabilidad de la mezcla. La gravedad especifica de la escoria tiene unos tres puntos dieciséis por ciento (3.16 %) y el agregado grueso unos dos puntos sesenta y tres por ciento (2.63%) teniendo la escoria un cero punto

cincuenta y tres por ciento (0.53%), con una gravedad específica mayor que el agregado grueso. El equivalente de arena en el caso de la escoria tiene setenta y seis por ciento (76%) mínimo y el agregado un setenta y siete puntos cinco por ciento (77.5 %), teniendo la escoria un uno punto cinco por ciento (1.5 %) menor de material fino en una fracción que el agregado.

La Granulometría en el caso de la escoria, no es satisfactoria debido a que el porcentaje que debe quedar retenido en cada malla con respecto a la muestra no cumple con los parámetros, pero en el caso del agregado grueso sí. La adsorción de la escoria tiene un dos punto noventa y siete por ciento (2.97%) y el agregado un cero punto nueve por ciento (0.9%), la escoria tiene un dos punto siete por ciento (2.07%) de mayor adsorción que el agregado grueso. Se puede concluir que ambas partículas y sus propiedades, están entre los criterios a considerar en la selección de agregado para la mezcla asfáltica.

Tabla 6. Resultados de mezclas asfáltica

Pruebas Efectuadas	Símbolo	Resultados			Especificaciones
		Mezcla A	Mezcla B	Mezcla c	
Numero De Golpes Por Cara En Compactación	***	75	75	75	75
% Optimo De asfalto	Pb	7.60	6.25	5.32	****
% Asfalto Absorbido	Pba	1.5	1.1	0.46	****
% Asfalto Efectivo	Pbe	6.1	5.2	4.86	****
% Vacíos De Aire	Va	4	4	4	3---5
%Vacíos De Rellenos De Asfalto	Vfa	79.8	76.48	72.7	65---75

% Vacíos Agregados Mineral	VMA	19.9	17.07	14.87	>13.0
Estabilidad Marshall	*****	3844.2	3479.0	2650.0	>1,200
Fluencia Marshall 0.01plg.	****	18.5	16.0	11.5	8---14
Relación Estabilidad/ Fluencia Lb./0.01 Plg	REF	207.8	217.4	229.0	120---275
% Resistencia Retenida	***	95.71	97.15	91.02	>80
Relación Polvo/ Asfalto	Dp	0.	1.12	1.19	0.6 ---1.6
Grave Especifica Bruta De La Mezcla	Gmb		2.65	2.36	*****
Gravedad Especifica Teórica Máxima	Gmm		2.77	2.46	*****

*Especificaciones Generales Para Construcción De Carreteras Y Puentes 2001.

Fuente: Pérez Edgar (2008). p44

En tabla anterior; se pueden observar los resultados de las características más importantes en el diseño de mezcla asfáltica, en la cual se consideraron los parámetros del método de Marshall AASHTOT-245. Se puede observar la prueba de números de golpes por cara en compactación, tanto la mezcla A que es la sustitución de un cien por ciento (100%) del agregado grueso por escoria en la mezcla, como la mezcla B que es un setenta por ciento (70 %) de sustitución de agregado grueso por escoria, así como la mezcla C donde se utilizó el cien por ciento (100%) de agregados, por lo que cumplieron con las especificaciones establecidas, en cuanto a esta mezcla resistieron a los setenta y cinco (75) golpes por noventa (90) segundos.

El porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla A fue de siete punto sesenta por ciento (7.60%), en la mezcla B, seis punto veinticinco por ciento (6.25%) y en la mezcla C, cinco punto treinta y dos por ciento (5.32 %), lo que permite observar que las mezclas con porcentaje de escoria tuvieron mayor porcentaje de asfalto que la mezcla con solo el agregado, la estabilidad de Marshall en la mezcla con escoria tuvo mayor valor de estabilidad es decir tuvo mil ciento noventa y cuatro coma dos (1194,2)lb. /plg² más que la mezcla con un cien por ciento 100% agregado. En la fluencia de Marshall en cuanto al resultado observado, se puede ver que las mezclas con porcentaje de escoria no cumplen con los parámetros de fluencia, es decir; sobrepasan los valores entre más porcentaje de escoria, la fluencia en el caso de la mezcla de los agregados si cumple con los parámetros.

En relación a la estabilidad de fluencia, es mayor en la mezcla que contiene agregados, sin embargo; todo cumple con los criterios establecido por el método de Marshall.

Entre los resultados analizados se puede concluir que la escoria es un material que tiene más absorción, debido a que tiene mayor porosidad que el agregado grueso, provocando así un incremento de contenido de asfalto. De igual forma; se logró determinar que las mezclas con escoria, tienen mayor valor estable y resistente a la deformación producida por la fuerza aplicada. En otra palabra, las mezclas con componentes de escoria no cumplieron con la especificación de fluencia, pero en el caso, correspondiente a la estabilidad fluencia si hay alto valor de estabilidad cumpliendo así con la especificación, debido a que la estabilidad complementa a la fluencia ocasionando así una mezcla con mayor durabilidad. Además, la escoria tiene un porcentaje mínimo en cuanto a la desintegración de sulfato provocado por la acción climática siendo así muy favorable para el momento de aplicarlo a vialidades. Asimismo, cuando la escoria se une con el agregado el contenido de betún disminuye.

Según, Pérez y Silva (2021), investigación de título “Porcentajes de escoria de acero para el diseño de mezcla asfáltica en caliente de la carretera Huaraz – Carhuaz”. Y su desarrollo en el laboratorio, se estiman diversos aspectos.

Elaboración de briguetas

Se elaboraron 16 probetas cilíndricas por cada contenido de asfalto evaluado, las probetas fueron fabricada en un recipiente hasta obtener una mezcla homogénea y con el árido completamente recubierto por el ligante asfáltico, luego fueron preparadas en los moldes, para luego ser compactadas asegurándose de que se aplicara 75 golpes por cada lado en un tiempo no superior de 90s, después de que las probetas se enfrió a temperatura ambiente, se desmonto y se determinó los espesores, luego se determinó la densidad real de las probetas de mezcla asfáltica compactadas por medio de la masa de la probeta pesada al aire en condición seca, saturada superficialmente seca y sumergida en agua.

Caracterización del material

- **Cemento asfáltico**

El PEN 85/100 (según el TDM asfaltos SAC) se considera para una altitud >2000 m.s.n.m. y si se compara con la altitud que presenta Huaraz cumple según los requerimientos, puesto que tiene una mejor penetración a las mezclas asfálticas este tipo de cemento asfáltico.

- **Agregados**

El agregado primero debe pasar el control calidad, posteriormente utilizada en el diseño a estudiar, la clasificación por calidad y parámetros que cumplen con las condiciones que estipula la norma ASTM C136 y ASTM C 117. Los agregados que se usaron en la preparación de la mezcla asfáltica en caliente corresponden a la cantera de Rumichuco y la escoria de acero fue obtenida de Sider Perú

- **Diseño de mezclas**

El diseño de la mezcla asfáltica patrón fue de treinta por ciento (30%) arena zarandeada, treinta por ciento (30%) de arena triturada y cuarenta por ciento (40%) de grava triturada, estas tres conforman el cien por ciento (100%), por otro lado, el porcentaje óptimo de asfalto es de cinco punto cinco por ciento (5.5%), de igual forma se desarrollaron tres muestras donde se sustituyó en la muestra A el tres por ciento (3%), en la muestra B el cuarto por ciento (4%) y en la muestra C el cinco por ciento (5%) del agregado grueso por escoria.

Tabla 7. Proporciones de los agregados en las mezclas asfáltica

Proporciones de los agregados en las mezclas asfálticas				
Materiales	Porcentajes del diseño patrón (%)	Diseños con escorias (%)		
		A	B	C
Cantera Rumichuco (Arena Triturada)	30			
Cantera Rumichuco (Arena Natural)	30	50	50	50
Cantera Rumichuco (Grava Triturada)	40	47	46	45
Escoria De Acero		3	4	5
Cemento Asfáltico	5.5	5.5	5.5	5.5

Fuente: Pérez y Silva (2021),p 56

Resultado

Tabla 8. Resumen del Análisis Granulométrico del agregado gruesos
(Norma: ASTM C136 / ASTM C 117)

Tamiz	Abertura (Mm)	Agregado % Pasa	Especificaciones Técnicas
1 1/2"	37.5	100.00	
1"	25	100.00	100 ----100
¾"	19	100.00	
½"	12.5	100.00	
3/8"	9.5	99.42	60---100
N4	4.75	85.00	50---85
N8	2.36	70.32	
N16	1.1	62.98	
N30	0.6	27.52	
N60	0.297	21.18	
N100	0.149	14.29	
N200	0.075	12,60	8-15
Fondo	Fondo	0.00	

Fuente: Pérez y Silva (2021),p43

En la tabla anterior se observa que el tamaño de la partícula de agregado es de 25 milímetros, en el cual el porcentaje que pasa por el tamiz 1 " ,3/8", N4, N200. cumple con los parámetros establecido según la norma

Tabla 9. Análisis Granulométrico de la escoria de acero (ASTM C 136)

Tamiz	Abertura	Porcentaje
Astm	Mm	Pasante
3"	76.2	
2 ½"	63	
2"	50	
1 ½"	37.5	
1"	25	
¾"	19	100
½"	12.5	99.66
3/8"	9.5	96.61
¼"	6.35	
#4	4.75	62.28
#8	2.36	
#10	2	27.80
#16	1.18	
#20	0.84	
#30	0.6	
#40	0.42	2.94

#50	0.3	
#80	0.18	0.38
#100	0.15	
#200	0.075	0.23
>200		00.00

Fuente: Pérez y Silva (2021),p43

En la tabla anterior se observa el tamaño de la partícula de la escoria es de 19 mm y un cien por ciento (100 %) que pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$. Cumple a través de la norma EG – 2013, la cual clasifica tres tipos de degradaciones para hacer el diseño de la mezcla asfáltica en caliente las cuales deberán ser cumplidas: MAC – 1, MAC – 2 y MAC – 3. Cumpliendo en este caso la MAC-2

Tabla10.Resultados del diseño patrón y de las mezclas asfálticas con escoria de acero

Parámetros De Diseño	Und	Diseño Patrón (Sin Escoria)	Diseño Con 3% Escoria	Diseño Con 4% Escoria	Diseño Con 5% Escoria	Especificaciones Eg-213	Especificaciones Metodología Marshall
Golpes	N	75	75	75	75	75	75
Cementos asfáltico	%	5.5	5.5	5.5	5.5		
Peso unitario	Kg/m ³	0.946	0.954	0.955	0.956		
Flujo	Mm	9.88	11.12	12.44	13.39	8-14	8-14

Fuente: Pérez y Silva (2021),p55

Se puede visualizar que el diseño (sin escoria), y la muestra de sustitución de tres por ciento (3%), cuatro por ciento (4%) y cinco por ciento (5%) de escoria, cumplen con los números de golpes de método de Marshall. Seguidamente el peso unitario aumenta a medida que se le va agregando más porcentaje de escoria.

Tabla 11. Comparación De Estabilidad Y Flujo De La Mezcla Patrón Y
Modificada

Parámetros De Diseño	Und	Diseño Patrón (Sin Escoria)	Diseño Con 3% Escoria	Diseño Con 4% Escoria	Diseño Con 5% Escoria	Especificaciones Eg-213	Especificaciones Metodología Marshall
Estabilidad	KN	8.73	9.59	10.34	11.37	Min 8. 15	Min 8

Fuente: Fuente: Pérez y Silva (2021),p76

Se puede contemplar que la estabilidad del diseño patrón es de ocho puntos setenta y tres (8.73) kn, al implementar el porcentaje de escoria, la estabilidad aumenta; El flujo en este caso, con el implemento de escoria aumenta por un porcentaje (%) de escoria aumenta uno punto treinta y dos (1.32) mm aproximadamente. Cumpliendo con los parámetros de la norma EG-2013.

Se puede establecer que en la evaluación de la mezcla asfáltica fue implementado el método de Marshall, donde se obtuvieron resultados superiores en comparación con la mezcla asfáltica principal. De igual manera la implementación de la escoria dio un resultado significativo, lo cual influye en la duración del pavimento de la carretera de esta zona que se encuentra a tres mil cero treinta y ocho (3038) msnm.

- Según, Novoa C. (2020), la investigación de titulado “Estudio del uso de escoria como agregado grueso en mezclas asfálticas densas para pavimentos”, en el; desarrollo una serie de etapas:
 1. Caracterización de los materiales para la fabricación de las briquetas de ensayo (material convencional y escoria de acero y cemento asfáltico).
 2. Realización de los diseños de mezcla mediante la metodología Marshall con reemplazo del material grueso de 1/2” y 3/8” por escoria de acero, de esta manera obteniendo en contenido óptimo de asfalto.

3. Evaluación del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica con material convencional y una mezcla alternativa con material tipo escoria, mediante los ensayos de Modulo resiliente, ensayo de tracción indirecta, creep y cántabro.

Caracterización de materiales

- **Agregados:**
 - **Agregados tradicionales**
Material grueso o piedra picada, entre otros, de 1/2" y 3/8".
- **Escoria de acería.**
Es de textura porosa, color café oscuro, con peso mayor al de los agregados tradicionales, no tiene plasticidad, y tiene forma cúbica.
- **Diseño de mezclas asfálticas.**
Se lograron destacar las siguientes:
 - Realización de los diseños de mezcla mediante la metodología Marshall con reemplazo del material grueso de 1/2" y 3/8" por escoria de acero.
 - Ensayos de Modulo resiliente, ensayo de tracción indirecta, creep y cántabro.

Resultados

Así pues, se lograron determinar los siguientes resultados:

Tabla 12: Material Granular Convencional.

Ensayo	Norma De Ensayo	Unidad De Medida	Especificaciones		Resultado
			Mínimo	Máximo	
Ensayos sobre el asfalto original					
Gravedad específica/ absorción de agregado fino	AASHTO T84	-	-	-	2.64 / 1.7 %

Gravedad específica/ absorción de agregado grueso	AASHTO T85	-	-	-	2.52 / 1.62%
Partículas fracturadas (1 cara)	E-227	%	85	-	89%
Índice de aplanamiento	NLT 354	%	-	10	8.90%
Índice de elongación	NLT 354	%	-	10	7.60%
Índice de plasticidad	E-125 Y E- 126	%	-	NO PLASTICO	NO PLASTICO
10% de fino (resistencia en seco)	E-224	KN	100	-	133 KN
Micro – deval	E-238	%	-	20	18.80 %
Degaste en la máquina de los ángeles	E-218	%-	-	25	23.70

Fuente: Novoa C. (2020).

Tabla 13: Material Alternativo (escoria de acero)

Ensayo	Norma De Ensayo	Unidad De Medida	Especificaciones		Resultado
			Mínimo	Máximo	
Ensayos sobre el asfalto original					
Gravedad específica/ absorción de agregado fino	AASHTO T84	-	-	-	-
Gravedad específica/ absorción de agregado grueso	AASHTO T85	-	-	-	2.1 / 4.5%
Partículas fracturadas (1 cara)	E-227	%	85	-	93%
Índice de aplanamiento	NLT 354	%	-	10	4.70%
Índice de elongación	NLT 354	%	-	10	3.00%
Índice de plasticidad	E-125 Y E- 126	%	-	NO PLASTICO	NO PLASTICO
10% de fino (resistencia en seco)	E-224	KN	100	-	111 KN
Micro – deval	E-238	%	-	20	33.70 %
Degaste en la máquina de los ángeles	E-218	%-	-	25	47.20%

Fuente: Novoa C. (2020)

Dentro de la tabla (10), se logran identificar los tipos de normas que se utilizaron en los ensayos, además, de considerar los parámetros aceptables de cada formula calculada.

Se logra destacar, la gravedad específica del agregado y la escoria usada en cada muestra, tanto en absorción del agregado grueso como en el fino, pero sin especificar los parámetros a seguir. También, se determinan las partículas fracturadas en una cara, las cuales obedecen al mínimo en el agregado grueso y la escoria de acero, pero teniendo un porcentaje más alto; de noventa y tres por ciento (93%) el segundo, que el primero ochenta y nueve por ciento (89%).

El índice de aplacamiento del agregado grueso es de ocho punto nueve por ciento (8.9%) en comparación de la escoria de acería es cuatro punto siete por ciento (4.7%) dando a entender gracias al parámetro reglamentario máximo de diez por ciento (10%), que la escoria de acería corresponde a un resultado de mayor calidad que el agregado grueso, comprendiendo un índice más elevado de partículas planas en la muestra, así mismo; con el respectivo índice de alargamiento, pero, no siendo plástico en sus propiedades para ninguno de los agregados en las muestras. Y, por último, se tiene el desgaste por la máquina de los ángeles, la cual, proporciona la resistencia del agregado a utilizar, con un máximo del veinticinco por ciento (25%), concluyendo que la escoria de acería tiende un mayor desgaste en comparación al agregado grueso convencional de treinta y siete puntos cinco (37.5) mm.

Teniendo en cuenta los anteriores análisis de resultados comprendiendo una similitud en cuanto a la funcionalidad del agregado grueso y la escoria de acero en las mezclas asfálticas producto de ensayos de laboratorios realizados en investigaciones previas, se considera a, Novoa C. (2020), en su trabajo titulado “Estudio del uso de escoria como agregado grueso en mezclas asfálticas densas para pavimentos”, el desarrollo más completo y un resumen cuantitativo de las **propiedades funcionales** de:

El agregado grueso

Tabla. 14 propiedad de Agregado grueso

AGREGADO GRUESOS			
Propiedad	Normativa de ensayo	Resultado	Especificación
Gravedad específica/ absorción de agregado fino	AASHTO T84	2.64 / 1.7 %	
Gravedad específica/ absorción de agregado grueso	AASHTO T85	2.52 / 1.62%	
Partículas fracturadas (1 cara)	E-227	89%	Mínimo 85%
Índice de aplanamiento	NLT 354	8.90%	Máximo 10%
Índice de elongación	NLT 354	7.60%	Máximo 10%
Índice de plasticidad	E-125 Y E- 126	NO PLASTICO	Nos plástico
10% de fino (resistencia en seco)	E-224	133 KN	Mínimo 100 KN
Micro – deval	E-238	18.80 %	Máximo 20%
Degaste en la máq. los ángeles	E-218	23.70	Máximo 25%

Fuente: Novoa (2020)

La escoria de Acero

Tabla. 15 propiedades de la escoria de acero

Escoria de acero			
Propiedad	Normas de ensayo	Resultado	Especificación
Gravedad específica/ absorción de agregado fino	AASHTO T84	-	
Gravedad específica/ absorción de agregado grueso	AASHTO T85	2.1 / 4.5%	
Partículas fracturadas (1 cara)	E-227	93%	Mínimo 85%
Índice de aplanamiento	NLT 354	4.70%	Máximo 10%
Índice de elongación	NLT 354	3.00%	Máximo 10%
Índice de plasticidad	E-125 Y E- 126	NO PLASTICO	Nos plástico
10% de fino (resistencia en seco)	E-224	111 KN	Mínimo 100 KN
Micro – deval	E-238	33.70 %	Máximo 20%
Degaste en la máq. los ángeles	E-218	47.20%	Máximo 25%

Fuente: Novoa (2020)

Por último, se puede comparar a la escoria de acero como sustituto del agregado grueso en el diseño de mezclas asfálticas.

Tabla. 16 cuadro comparativo al sustituir el agregado grueso por escoria de acero en el diseño de mezclas asfálticas.

Agregado grueso Método de Marshall	Escoria de escoria Método de Marshall	Especificaciones
100% Agregado Grueso	Sustitución 100% por escoria de acero	SEGUN: ASHTO
Según Pérez Edgar (2008). Numero De Golpes Por Cara En Compactación: 75 % Optimo De asfalto: 5.32 % % Vacíos De Aire: 4% %Vacíos De Rellenos De Asfalto: 72.7% % Vacíos Agregados Mineral 14.87% Estabilidad Marshall: 2650.0 Fluencia Marshall: 11.5% 0.01plg.	Según Pérez Edgar (2008). Numero De Golpes Por Cara En Compactación: 75 % Optimo De asfalto: 7.6 % % Vacíos De Aire: 4% %Vacíos De Rellenos De Asfalto: 79.8% % Vacíos Agregados Mineral: 19.9% Estabilidad Marshall: 3844.2 Fluencia Marshall: 18.5% 0.01plg	Numero De Golpes Por Cara En Compactación: 75 % Optimo De asfalto: --- % % Vacíos De Aire: 3--5% %Vacíos De Rellenos De Asfalto: 65-75% % Vacíos Agregados Mineral: > 13% Estabilidad Marshall: >1200 Fluencia Marshall: 8-14% 0.01plg
30% agregado grueso	Sustitución de 70 % por escoria	SEGÚN: ASHTO
Según Pérez Edgar (2008). Numero De Golpes Por Cara En Compactación: 75 % Optimo De asfalto: 5.25 % % Vacíos De Aire: 4%	Según Pérez Edgar (2008). Numero De Golpes Por Cara En Compactación: 75 % Optimo De asfalto: 5.25 % % Vacíos De Aire: 4%	Numero De Golpes Por Cara En Compactación: 75 % Optimo De asfalto: --- % % Vacíos De Aire: 3--5% %Vacíos De Rellenos De Asfalto: 65-75%

%Vacíos De Rellenos De Asfalto: 76.48% % Vacíos Agregados Mineral 17.07% Estabilidad Marshall: 3479.0 Fluencia Marshall: 16.0% 0.01plg.	%Vacíos De Rellenos De Asfalto: 76.48% % Vacíos Agregados Mineral 17.07% Estabilidad Marshall: 3479.0 Fluencia Marshall: 16.0% 0.01plg.	% Vacíos Agregados Mineral: > 13% Estabilidad Marshall: >1200 Fluencia Marshall: 8-14% 0.01plg
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Barrios, Briceños (2023)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

De acuerdo, a lo estudiado se logró determinar que la escoria de acero como sustituto de agregado grueso en el diseño de mezclas asfálticas no cumple como sustituto, ya que tiene mayor porcentaje de vacío de relleno de asfalto y una fluencia muy alta a su vez. De esta manera, el resultado es una mezcla asfáltica que drena los líquidos en su interior y propensa a múltiples fallas de agrietamiento en el pavimento

No obstante, se logró constatar que la escoria de acero es una gran alternativa innovadora y un elemento que mejora la mezcla asfáltica, ya que es un material con propiedades favorables y en ciertos factores hasta más resistente que el agregado grueso. Esto se pudo definir porque la escoria en mezclas asfálticas proporciona una estabilidad y una mayor durabilidad en la aplicación de carpetas asfálticas, de igual manera, tiene una menor desintegración del sulfato de sodio debido a que, el estado final en la fabricación del acero proporciona a la escoria del acero un punto de oxidación máximo.

Mejora la mezcla asfáltica el uso combinado de la escoria del acero y agregado grueso, ya que, contribuye a reforzar las propiedades de ambos agregados, como es el caso de la absorción de cemento asfáltico por la escoria de acero. Por tal razón, sustituirlos en un porcentaje controlado (60/40%) el agregado grueso (tradicional) por escoria de acero generará una equivalencia respecto al porcentaje de ambas partículas. Además, ambos cumplen con los parámetros o criterios de normas consideradas en el diseño de mezcla asfáltica y el método de Marshall.

Por lo tanto, la sustitución controlada de escoria de acero por agregado grueso (tradicional), según el diseño de mezclas asfálticas que se considere realizar, generara una mezcla asfáltica eficiente y con

propiedades físico-químicas óptimas para el desarrollo sustentable en la construcción de vialidades.

Recomendaciones

- Se recomienda a los próximos investigadores determinar el porcentaje óptimo de escoria de acero en el diseño de mezclas asfáltica con el fin de mejorar las propiedades del diseño de mezcla y así tener un mejor resultado en cuando a la durabilidad.
- Se recomienda ser implementada en espacio cercanas a las siderúrgica.
- Considerar el comportamiento de las propiedades de la escoria en mezclas asfáltica
- Implementar a nuevas investigaciones que continúe con el estudio para así implementar este material ya que este elemento contribuye con las propiedades física y química en el diseño de mezclas asfálticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, A. (2020). "Antecedentes de Investigación". Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas. Universidad de Lima, Perú.
- Arias. (1999), "Manual de trabajo de grado de especialización y maestría y tesis doctorales" 4ta edición reimpresión 2010.
- Arias, F. (2012). Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta Edición, 2012. Editorial Episteme. Caracas: Venezuela.
- Pérez, K., Silva, E. (2021). "Porcentajes de escoria de acero para el diseño de mezcla asfáltica en caliente de la carretera Huaraz - Carhuaz, Ancash". Universidad Cesar Vallejo Facultad de Ingeniería Civil. Trujillo, Perú.
- Norma Técnica Fondonorma(2009). "Carreteras, Autopistas Y Vías Urbanas. Especificaciones Y Mediciones" Ntf 2000-1:2009
- Padilla, A. (2004). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- NORMA covenin 2000:1980 sector construcción. Especificaciones codificación y mediciones parte I carreteras.
- Corredor, G. (Revisión 2011). Apuntes de Pavimentos, Volumen 2.

Caracas: Universidad de Santa María y Universidad Católica Andrés Bello

- Jugo,A.(2012) “ Construcción e inspección en obras de pavimentación” versión 1.1 noviembre 2007.Instituto Nacional Del asfalto. Venezuela.
- Hernández, R. Fernández C. Baptista, P. (2014) Metodología de la Investigación. 6ta Edición. Interamericana Editores. S.A, D.F: México.
- Rodríguez, A. (2004).” Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista” Universitat Politècnica de Catalunya.
- Palella, S., Martins, F. (2006). “Metodología de la investigación cualitativa”. FEDUPEL, 2006, 2a. ed. Caracas; Venezuela.
- Gallardo, E. (2017). “Metodología de la Investigación”. Universidad Continental. Huancayo, Perú.
- Perez, E. (2008).” Evaluación de la escoria de horno como agregado en mezclas asfáltica” universidad de san Carlos de Guatemala.
- Novoa, A. (2020). “Estudio Del Uso De Escoria Como Agregado Grueso En Mezclas Asfálticas Densas Para Pavimentos” Universidad Católica De Colombia Facultad De Ingeniería Civil Bogotá
- Norma Venezolana COVENIN 269-1998 Agregado Grueso.

Determinación de la densidad y la absorción

- .
- Norma Venezolana COVENIN 263-1978. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.
- Norma Venezolana COVENIN 255-1998. Agregados. Determinación de la composición granulométrica.
- ASTM C-136 (Método Estándar Para El Análisis De Agregados Por Tamizado): Esta Norma Cubre La Determinación De La Distribución Del Agregado Fino Y Grueso Por Tamizado.
- ASTM C-127, C-128 (Método Estándar Para Determinar La Gravedad Específica Y El Porcentaje De Absorción de agregado fino y grueso)
- ASTM C-131, C-535 (AASHTO T-96) (Resistencia del agregado a la degradación por abrasión e impacto por medio de la máquina de los Ángeles).
- ASTM D-4791 (Partículas planas y alargadas en agregados): Esta norma cubre el procedimiento para evaluar el porcentaje de partículas planas y alargadas en una muestra de agregado.
- AASHTO T-176 (Método de prueba estándar para el valor de equivalente de arena en suelos y agregados fino)
- AASHTO T-90 (Método de prueba estándar para determinar el valor de índice plástico en suelos granulares y agregados finos)

- AASHTO T-104 (Desintegración de agregados utilizando sulfato de sodio o de magnesio)

