

NOMBRE DEL TRABAJO

FeDiseño de micro pavimento con mezcla asfáltica añadiendo caucho reciclado y reemplazando la arena

AUTOR

Jean Pierre - Jeiner Fernando Fernández Viera - Gonzales Carranza

RECUENTO DE PALABRAS

18974 Words

RECUENTO DE CARACTERES

93969 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

80 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.6MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 8, 2023 7:55 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 8, 2023 7:56 AM GMT-5

● **16% de similitud general**

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

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

Resumen

La necesidad de promover la reutilización de materia prima en la construcción ha adquirido una importancia fundamental en la promoción del progreso hacia la sostenibilidad. Actualmente, está siendo examinado el desempeño de caucho reciclado (CR) y escoria de acero (SS) en combinaciones asfálticas, con el objetivo de proponer alternativas sostenibles para micro-pavimentos. En esta investigación, se han creado muestras de CR con adiciones del 5%, 8%, 10% y 12%, así como de SS como sustituto del agregado en proporciones del 5%, 10%, 15% y 20%. Los resultados muestran que las combinaciones asfálticas que presentan un 5% de CR y un 10% de SS presentan el mejor rendimiento. En la fase de diseño, se han planteado tres escenarios: la combinación de control (convencional), la combinación con un 10% de SS como sustituto del agregado, y la combinación óptima con los porcentajes ideales de CR y SS, respectivamente. Se concluye que las dos primeras propuestas cumplen con los estándares de la guía ISSA, pero la tercera propuesta no muestra un comportamiento favorable en el ensayo de abrasión en húmedo.

Palabras Clave: Desarrollo sostenible; combinaciones asfálticas; escoria de acero; caucho reciclado.

Abstract

The need to reuse materials in construction is a determining factor of sustainable development. Currently, the behavior of recycled rubber (CR) and steel slag (SS) in asphalt mixtures is being evaluated. This research evaluates proposals for sustainable development in micro-surfacing with CR and SS. For this, there are CR specimens with addition of 5%, 8%, 10% and 12%, and SS as a replacement for the aggregate at 5%, 10%, 15% and 20%. The best performance results in asphalt mixtures with CR and SS were 5% and 10% respectively. Three scenarios are presented in the design stage. Control mix (conventional), mix with SS as a substitute for the aggregate at 10% and mix with optimal CR and SS percentages respectively. It is concluded that the first two proposals meet the requirements of the ISSA guide, however, the third proposal does not have a favorable behavior in the wet abrasion test.

Keywords: Sustainable design; asphalt mixes; steel slag; recycled rubber.

4 I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

Actualmente, se están desarrollando investigaciones que se centran en el uso de materiales reciclados en las composiciones de combinaciones asfálticas en frío, debido a la gran necesidad de fomentar construcciones sostenibles en ingeniería civil [1], En los últimos años, el costo de las combinaciones asfálticas ha experimentado un aumento, principalmente atribuido al alto costo de los áridos, y a ello se ha sumado una mala gestión en el control de calidad de estos mismos [2]. Por otro lado, se sostiene que en un año a nivel mundial mil neumáticos alcanzan su fin de la vida útil, y al final estos suelen ser desechados o en el peor de los casos quemados, trayendo consigo un principal agente de la contaminación ambiental [3]. De la misma manera, en la industria siderúrgica sucede una situación no muy ajena, al producir acero, en ello se cuenta con residuos de acero bruto, lo cual se conoce como escoria de acero (SS), que hablando de porcentaje este resulta ser en un rango de 10%-15% del acero bruto producido, provocando una gran demanda de recursos energéticos; es por ello que la reutilización de este material dentro de las combinaciones asfálticas, principalmente en frío, es materia de investigación [4]. Otro problema que abunda en la actualidad es el deterioro de capas superficiales de pavimentos, debido a una falta de mantenimiento, estos suelen tener grietas, con el tiempo se desprecian y resultan inservibles [5]. En Irán, en una investigación señala que, mayormente los pavimentos nuevos se construyen por encima de un pavimento antiguo y que esto genera que la vida de los pavimentos sea corta, es por ello que debe buscar soluciones que nos permitan contrarrestar esta problemática [6]. Como resultado, la exploración de enfoques y metodologías innovadoras en la industria de la construcción recientemente ha ganado relevancia. La industria de la construcción se ha convertido en un indicador crucial para el aumento del Producto Bruto Interno (PBI) en el Perú.

En los últimos años se han realizados grandes obras de vías pavimentadas, pero muchas de ellas no cumplen los estándares de diseño. Una alternativa de mantenimiento preventivo de pavimento, con la finalidad de incrementar el rendimiento del mismo y tener una mejor textura de la superficie de rodadura; el uso de micro pavimento es una de las técnicas mencionadas las cuales en la actualidad son implementadas, debido al ahorro de costos, energía y tiempo. A ello se suma un notorio incremento al deslizamiento del pavimento y un retraso el periodo de deterioro del pavimento [7].

En Lima, una investigación resalta que el alto crecimiento de vehículos, ha traído como consecuencias un incremento de cargas muy significativo, por lo que, muchas vías se han visto afectadas porque en su mayoría han sido diseñadas para cargas livianas y que como consecuencia se han ocasionado innumerables daños estructurales en los pavimentos, como es el caso de del tramo de la carretera que se encuentra en el kilómetro 27 ½ de la panamericana en el distrito de puente Piedra [8]. Asimismo, otra investigación brinda aportes de las últimas décadas, la implementación de pavimentos con materiales convencionales, debido al incremento de tráfico de vehículos han traído consigo el colapso de estructuras pavimentadas y el deslice de carreteras, es por ello que se viene desarrollando e impulsando el reciclaje, debido a esta situación en Moquegua se optó por desarrollar y mejorar los pavimentos, realizando modificaciones en la combinación asfáltica al añadirle material reciclado de neumáticos, de tal forma que nuestro país cuente con una infraestructura vial que vaya acorde a nuestros tiempos actuales [9]. La falta de calidad en las infraestructuras viales la cual ha sido ocasionada no solo por el incremento de cargas debido al aumento de tránsito de vehículos, sino también, por el poco mantenimiento y la deficiencia que se muestran en el diseño de los pavimentos, como el uso de reforzamientos para darle una solución a esta problemática, tal es el caso de que el uso de micro pavimentos no ha sido utilizado como reforzamiento a la capa superficial de pavimentos. Asimismo, otro aporte, en

una investigación en la ciudad de Lima se cuenta con muchas vías principales y secundarias de acceso las cuales conectan a diversas regiones productivas generando un movimiento económico considerable, por tal motivo es vital que las vías cuenten con eficiente servicio para evitar que la economía se vea afectada. Estas vías atraviesan diferentes zonas por lo que son expuestas a diferentes temperaturas, por esta razón, se está explorando la sustitución de la combinación asfáltica de control por una variante modificada que incluya caucho reciclado, debido a su sensibilidad al cambio de temperatura [10]. Por otro lado, en Trujillo, una de las ciudades que representa uno de los sectores más importante de desarrollo económico de nuestro País, presenta uno de los problemas más grandes de la infraestructura vial, ya que, muchas carreteras de esta ciudad presentan grandes fallas en su estructura, a consecuencia de no llevar un correcto diseño o el mantenimiento adecuado para éstas [11]. Abordando las consideraciones en el diseño de micro pavimentos en el cual suele pasar por alto al efectuar su diseño, la selección de materiales granulométricos, lo cual muchas veces pasa desapercibido por diferentes profesionales encargados del diseño. Por otro lado, la pobreza extrema también es uno de los problemas que se da a causa de, debido a que su potencial económico no se aprovecha por la falta comunicación vial que hay en los pueblos abandonados de Lima [12, 13]. Por último, otra problemática abordada en Pisco es el índice de producción de escoria de acero la cual es del 10% al 15% por tonelada de acero producido, resultando este índice un tanto elevado por lo que en busca de la reutilización de dicho material se propone el diseño de carreteras afirmadas con escoria de acero [14].

En Lambayeque, Perú, no existen registros precisos sobre la cantidad de llantas desechadas en vertederos y calles. Esto se debe a la ausencia de un marco legal específico para gestionar residuos sólidos especiales, como los neumáticos fuera de uso (NFU). Como solución a ellos, se plantea el desarrollo de una planta de reciclaje de neumáticos. Además de disminuir la contaminación al medio ambiente, esta planta contribuiría a la introducción de nuevas tecnologías en pavimentación, como la incorporación de neumáticos reciclados en el diseño de combinaciones asfálticas [15]. La falta de cultura de residuos sólidos en este caso

particular el caucho de los neumáticos que generan una gran contaminación en Chiclayo y en todo el Perú, se busca incluir en las combinaciones asfálticas las partículas de caucho desechadas realizando así nuevos diseños [16]. Por otro lado, tenemos que los pavimentos de Chiclayo se han deteriorado de manera permanente por diversos factores, lo cual genera un impacto económico negativo por el mantenimiento y reparaciones que se tienen que realizar, debido a esto se propone el análisis que generará ⁴ la incorporación del caucho reciclado como agregado fino en cierta cantidad [17]. Para finalizar, existe una necesidad en el mercado interno y externo con infraestructuras viales, ⁹ que mejoren las condiciones de vida de las carreteras del distrito de la Victoria de la ciudad de Chiclayo [18].

En referencia a las antecedentes internaciones Nanjegowda y Biligiri [19] en su artículo científico “Reciclabilidad del caucho en sistemas de carreteras asfálticas: una revisión de la investigación aplicada y los avances en tecnología” El objetivo principal es proporcionar un panorama actualizado con respecto a la materia prima utilizada en las combinaciones asfálticas, tomando al caucho como una técnica de reciclaje. Se emplea una metodología experimental en las investigaciones, donde se establece que las partículas de caucho no deben exceder los 2,36 mm. Se varía el porcentaje de caucho entre el 8% y el 20%, y los resultados indican que, en una de las investigaciones, un 10% de caucho en la combinación asfáltica produce condiciones óptimas en las propiedades termorreológicas. Además, se observa que el porcentaje de caucho es directamente proporcional a la viscosidad de la combinación. Como conclusión, se afirma que el caucho, como agente modificador, mejora tanto las propiedades reológicas como mecánicas del asfalto cauchutado. Li et al [20] en su artículo científico “Activación de superficie de caucho triturado de llantas de desecho para mejorar la compatibilidad del asfalto cauchutado” el cual tiene como objetivo hacer una comparación de métodos de activación superficial del caucho reciclado como modificador de asfalto para mejorar la compatibilidad del asfalto cauchutado, teniendo una metodología de búsqueda de investigaciones que a través de métodos experimentales se analice el comportamiento de esta variable; en los resultados de una de las investigaciones abordadas

se tiene que con un 10% de CR en peso total a la combinación asfáltica se logra alcanzar las óptimas condiciones de propiedades mecánicas de la combinación cauchutada, concluyendo en la mayoría de investigaciones que el uso de CR en la combinación asfáltica, es una buena alternativa ambiental y reológica, sumándole a ello los beneficios en sus propiedades mecánicas. Monteiro et al [3] en su artículo científico “Análisis de energía y carbono del ciclo de vida de una barrera de seguridad vial producida con caucho de neumáticos reciclados” Analiza los beneficios en términos de reducción del consumo de energía y emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al reutilizar caucho reciclado (CR) en contraste con el uso de caucho sintético virgen y polipropileno (PP) en las combinaciones asfálticas. Los resultados revelan una reducción del 47% en el uso de energía primaria no renovable y una reducción del 38% en las emisiones de CO₂ en comparación con la utilización de caucho sintético convencional. De la misma manera, Picado et al [21] en su artículo de revisión “Combinaciones asfálticas de caucho granulado: una revisión de la literatura” la que tiene como fin abordar en tres técnicas de uso del caucho reciclado en la combinación asfáltica, utilizando una metodología de revisión bibliográfica en donde se abordan investigaciones experimentales de uso de caucho, en el cual en una de las investigaciones abordadas dan como resultado que con un porcentaje de 20 % de caucho reciclado se muestra una resistencia mucho mejor que en una combinación bituminosa convencional, dado que, un porcentaje de caucho superior al mencionado, reflejaba una reducción considerable a la densidad de la combinación y un aumento en el contenido de vacíos; concluyendo que el uso de caucho reciclado en la combinación asfáltica, mejora las propiedades mecánicas y los beneficios también se ven expresados en términos de impacto ambiental y de agotamientos de recursos.

Bilema et al [22] en su artículo científico “Influencia del tamaño de las partículas de caucho granulado sobre el daño por humedad y la resistencia de la combinación asfáltica en caliente” El propósito de esta investigación fue evaluar cómo el tamaño de las partículas de caucho afecta el daño por humedad y la resistencia a la tracción (ITS) en combinaciones asfálticas. Se empleó una metodología experimental que incluyó 60 muestras, de las cuales

36 se destinaron a evaluar el rendimiento mecánico y 24 para determinar el contenido óptimo de ligante. Se utilizó un 5% de caucho, y se evaluaron tres tamaños de partículas: 0.075 mm, 0.15 mm y 0.3 mm. Los resultados mostraron que la combinación asfáltica con partículas de 0.075 mm de caucho aumentó la ITS en un 5.4% en comparación con la combinación asfáltica virgen. Con partículas de 0.15 mm, se logró un aumento del 9% en la ITS, y con partículas de 0.3 mm, el aumento fue del 12% en comparación con la combinación asfáltica virgen. Además, se descubrió que el porcentaje de caucho era inversamente proporcional a la resistencia al daño por humedad debido a un aumento en la relación de vacíos. En conclusión, se encontró que un mayor porcentaje de caucho aumenta la resistencia a la tracción, pero disminuye la resistencia al daño por humedad en la combinación asfáltica. Riekstins et al [23] en su artículo científico “Análisis económico y ambiental del asfalto modificado con caucho granulado” pretende analizar económicamente mediante una evaluación la vida útil de la combinación asfáltica usando en caucho triturado proveniente de llantas recicladas como modificador en comparación de un asfalto convencional, la metodología empleada es experimental en donde se realizaron diseños de tres combinaciones asfálticas con porcentajes de (15, 20 y 25), los resultados de esta investigación reflejan que las combinaciones asfálticas modificadas con caucho reciclado con los porcentajes en mención tienen al menos dos años más de vida útil que una combinación convencional, lo que se concluye que para que un pavimento con combinación asfáltica modificado con caucho resulte más económico se debe ver reflejado en la sostenibilidad, es decir que para que una combinación asfáltica modificada tenga costos anuales más bajos que una tradicional, debe durar por lo menos un año más en la práctica que se realizó en un pavimento. Por el mismo lado, Singh et al [24] en su artículo científico “Combinación asfáltica en caliente dispersa de caucho granulado intercalado con grafeno” El fin de esta investigación es analizar el rendimiento de una pavimentación flexible que utiliza una combinación asfáltica modificada con caucho, sometida a condiciones de agrietamiento y tráfico pesado. La metodología empleada se centró en analizar las propiedades físicas y mecánicas con respecto a la

combinación modificada mediante ensayos de propiedades Marshall, mientras que la comparación entre la combinación modificada y la combinación virgen se llevó a cabo a través de espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados indican que, para lograr la máxima estabilidad, el contenido óptimo de caucho en la combinación debe ser del 9.8%, con un valor de flujo de 3.39 mm. Con este porcentaje, se logra una resistencia a la penetración de 40 mm, un punto de ablandamiento de 54 °C (R&B) y una ductilidad de 65 cm. Estos resultados demuestran un progreso del betún modificado en comparación con otros porcentajes analizados e incluso con el betún virgen. En conclusión, se establece que un contenido de caucho del 9.8% del peso total de la combinación asfáltica logra una mayor resistencia al agrietamiento en comparación con el betún virgen.

Ahora bien Díaz-Pinoleta et al [25] en su artículo científico “Análisis integral de escoria siderúrgica como agregado para la construcción de carreteras: pruebas experimentales y evaluación de impacto ambiental” tiene como objetivo utilizar un 15 % de escoria de acero, para ser una sustitución del agregado grueso en la combinación asfáltica, así mismo realizar un análisis comparativo y evaluar la sostenibilidad de la combinación asfáltica, la cual se emplea un programa de diseño experimental en que primero se realiza una evaluación con respecto a los requisitos que deben cumplir las materias primas utilizadas en la combinación asfáltica, luego se realiza una prueba piloto de la combinación y del pavimento; finalmente, se miden los impactos en cada una de las combinaciones mediante un análisis de ciclo de vida; dentro del análisis de resultados tenemos que la escoria de acero tiene un coeficiente de los ángeles de 14, lo cual es menor que la caliza 25, el basalto 14.9, y lo que refleja que tiene buenas propiedades de tenacidad y abrasividad, concluyendo que cumple con los requisitos establecidos para los pavimentos más exigentes.

Adham Mohammed et al [26] en su artículo científico “Evaluación en laboratorio de combinaciones asfálticas modificadas con fibras incorporando agregados de escoria siderúrgica” presentó como objetivo, evaluar las propiedades mecánicas de la combinación

asfáltica modificada con escoria de acero como agregado, utilizando el método de revisión bibliográfica en donde se tomó como referencia diversos estudios experimentales de la adición de la escoria de acero en combinaciones asfálticas, por otro se decidió utilizar un 100% de escoria de acero, dado que dicho porcentaje resulta en la mejora de las propiedades mecánicas tales mayor resistencia al agrietamiento por fatiga, aumento del módulo resiliente y susceptibilidad a la humedad.

Seyed et al [27] en su artículo científico “Evaluación del efecto de la escoria de acero del horno de arco eléctrico sobre el comportamiento mecánico dinámico y estático de combinaciones asfálticas calientes” en el cual sustituye el agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm por la escoria de acero en porcentajes de 0% ,25%, 50%, 75 % en la combinación asfáltica, teniendo como indicador de evaluación el método Marshall, la resistencia a la tracción y el módulo resiliente, resultando como contenido optimo el 75 %, donde se logra una fluencia dinámica aumentada en 343% obteniéndose la mejoría más notable en las propiedades mecánicas. El comportamiento de la escoria de acero en el diseño de micro pavimento es materia de investigación en la actualidad, su aplicación consiste en sustituir el agregado triturado, Shaygan et al [28] en su artículo científico “Evaluación ambiental y de desempeño de una combinación de micro pavimentos utilizando el polvo de escoria de alto horno granulado (GBSP) como potencial relleno reciclado” analiza porcentajes de reemplazo de 0%, 2.5%, 5%. 7.5% y 10% en base al peso total de los agregados, realizando las pruebas de diseño, resultando como porcentaje optimo el 10% de SS, donde se provocó aumento de la cohesión, reducción del desplazamiento vertical y reducción del potencial de san-grado en un 35 %, 57 % y 48,5 %, respectivamente.

En el ámbito nacional, en la tesis de pregrado de Maguiña [10] la cual lleva como título “Caucho reciclado de llantas en la combinación de Asfalto a Compresión para mejorar las Propiedades Mecánicas” El fin de la investigación es evaluar las propiedades mecánicas de una modificación de asfalto mediante la incorporación de grano de caucho en comparación con un asfalto convencional. La metodología empleada consiste en ensayos de laboratorio,

centrándose en el método Marshall para evaluar las propiedades de la combinación asfáltica. Se realizaron adiciones de caucho en proporciones del 1%, 2% y 3%, con el fin de encontrar las proporciones adecuadas del caucho, considerando las propiedades mecánicas. Los resultados indican que la proporción adecuada del caucho es del 3%, con propiedades evaluadas que incluyen un VMA de 57.8, una fluencia de 2.8 y una relación de vacíos del 4%. Se observó una mejora del 37% en las propiedades mecánicas en comparación con una combinación asfáltica convencional. En conclusión, la investigación destaca que la adición de grano de caucho reciclado mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas del asfalto convencional. Paco y Segovia [29] en su tesis de pregrado “Análisis del aprovechamiento de neumáticos reciclados usados como aditivo en el asfalto”, tiene como objetivo evaluar el comportamiento del caucho de neumático mediante su aplicación de aditivo en la combinación asfáltica y verificar si cumple con los requerimientos establecidos del MTC, la metodología empleada es experimental en la que se obtiene dos combinaciones asfálticas añadiendo un porcentaje de 3% y 5% de caucho de neumático reciclado en tamaños de 0.8 y 4 milímetros, mediante los procesos por vía caliente y seca dentro de los resultados se logra determinar que la combinación cumple con las exigencias del manual del Ministerio de Transporte y Carreteras; concluyendo que a partir de esta investigación experimental y utilizando el caucho con un material reciclado que además de aportar al medio ambiente, también se puede obtener grandes beneficios su aplicación en las carreteras. . Por otro lado, Santos y Lobato [30], en su tesis de pregrado “Evaluación del asfalto modificado a base de caucho reciclado de neumáticos en comparación del asfalto convencional” En su investigación, proporciona un análisis comparativo entre las combinaciones asfálticas que incorporan caucho reciclado y una combinación convencional. La metodología se basa en una revisión bibliográfica de estudios experimentales que han utilizado el caucho como modificador de propiedades en combinaciones asfálticas. Estos estudios consideran tres procesos: vía húmeda, vía seca y proceso en refinería. Los resultados revelan investigaciones que respaldan de manera positiva el uso del caucho en combinaciones asfálticas,

4 Concluyendo que la incorporación de caucho proveniente de llantas en desuso mejora la calidad de la combinación asfáltica y puede significar un aumento considerable en la resistencia de la capa asfáltica.

2 Ramos-Huamán [31], en su tesis de postgrado “Gestión de la conservación y beneficios de la aplicación de micro pavimento en una concesión en el Perú”, en la que se tiene como fin evaluar los beneficios del uso de un micro pavimento en condiciones estructurales ya sea funcional y superficial de un pavimento que se encuentra a una altura superior a 3900 msnm, la metodología que se efectúa en la investigación es analítica, en el que se toman en consideración las condiciones mencionadas del pavimento, antes, durante y después; el procedimiento a llevar fue escoger un tramo de la carretera donde se encuentren fisuras o grietas del pavimento y aplicarle el micro pavimento y evaluar su comportamiento; los resultados obtenidos fueron favorables, obteniendo un rendimiento promedio de 1426 ml 983 ml para el sello de fisuras, concluyendo que la aplicación del micro pavimento ha sido adecuado para mitigar la expansión y severidad del daño. Asimismo, se propone otro material reciclable en la investigación de Figueroa y Mamani [14], en su tesis de pregrado “Diseño de carreteras afirmadas en base a escorias negras, provenientes de la planta de aceros Arequipa de Pisco, para zonas rurales”, El propósito de este estudio fue examinar el comportamiento de las escorias negras provenientes de la industria siderúrgica cuando se incorporan en las capas asfálticas de afirmado. Se utilizó una metodología experimental que implicó la creación de combinaciones asfálticas con distintos porcentajes de escoria de acero: 5%, 10% y 15%. Se evaluó el comportamiento mecánico de estas combinaciones según los requisitos establecidos en el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Los resultados indicaron un incremento en las propiedades mecánicas cuando el contenido de escoria de acero fue del 15% en comparación con los otros porcentajes. Además, se observó que la combinación cumplió con los requisitos del manual del MTC. En conclusión, se determinó que la escoria de acero representa una alternativa viable para su utilización en las combinaciones asfálticas, considerando su impacto ambiental

y su aprovechamiento en las capas de afirmado.

Lucen [32], en su tesis de pregrado ² "Aplicación de escoria siderúrgica para rehabilitar pavimentos flexibles en el Distrito de La Victoria – Lima 2018 Nivel" Con el propósito central de evaluar el impacto de la introducción de escoria siderúrgica en las propiedades de los pavimentos flexibles destinados a la rehabilitación, se llevó a cabo una metodología experimental. Este análisis se efectuó en muestras con incorporaciones de escoria de acero del 3%, 10% y 17%, mediante ensayos de Marshall para la combinación asfáltica y ensayos de características de agregados. Se logró obtener una mejor resistencia al esfuerzo y deformación al corte con la incorporación del 3% y 10% de escoria de acero. Además, este diseño cumplió con los requisitos estipulados por la norma ASTM D 3515. La conclusión extraída es que los porcentajes óptimos a considerar deben ser del 3% y 10%. Motevalizadeh et al [33], en su artículo científico "Propiedades de fractura de combinaciones asfálticas que contienen escoria de horno de arco eléctrico a temperaturas bajas e intermedias" , en su estudio tuvo como fin analizar las propiedades de fractura y susceptibilidad a la temperatura, utilizando el 100% de ¹ escoria de acero de horno de arco eléctrico (EAF), sin embargo mediante estudios experimentales se comparó ² el uso de escoria de acero como agregado grueso y agregado fino, llegando a obtener resultados como que el uso del 100% de EAF como agregado grueso tuvo un efecto sinérgico positivo en cuanto a las propiedades en estudio, mientras que el uso de EAF como agregado fino obtuvieron efectos sinérgicos bajos, llegando si a la conclusión en cuanto a porcentaje y uso de escoria de acero para obtener resultados positivos se debe de usar un ¹ 100% de escoria de acero como agregado grueso.

Con respecto al ámbito local, Carrasco y Rosillo [34], en su tesis de pregrado ² "Diseño de pavimento flexible con utilización de caucho reciclado en avenida Venezuela, cuerdas 26 - 59, distrito José Leonardo Ortiz, Lambayeque – 2021", El propósito de esta investigación es llevar a cabo el diseño de un pavimento que incorpore caucho de neumático como aditivo en la combinación asfáltica. El método utilizado en la investigación es carácter experimental, donde se generaron combinaciones con adiciones de 0.5%, 1% y 1.5% de caucho en la

combinación. Los resultados revelaron que el contenido óptimo de caucho, determinado a través del ensayo Marshall, es de 0.5% y 1.0%. En cuanto a la estabilidad, se obtuvieron valores de 2961 kg/cm para la combinación con 0.5% y 2547 kg/cm para la muestra con 1.0%. En relación con la fluencia, se registraron valores de 3.39 mm para el 0.5% y 3.51 mm para el 1.0%. Además, se observaron porcentajes de vacíos de aire del 4.49% para la combinación con 0.5% y 4.93% para la de 1.0%. La conclusión a la que se llegó es que el comportamiento mecánico de la combinación satisface los requisitos mínimos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Por su parte Bravo y Montalvo [17], en su tesis de pregrado “Desarrollo de una combinación asfáltica en caliente con adición de caucho: caracterización del nuevo material” dan a conocer que realizaron combinaciones a 140° C, 130°C y 120°C con proporciones de 1%, 2% y 3% respectivamente mediante la metodología Marshall, dando por resultado que el % óptimo de asfalto es del 5%, en cuanto al caucho se define que mientras se trabaje mayor temperatura reaccionará de manera más eficaz en la combinación. Así también Quipusco y Villegas [35], en su tesis de pregrado “Efectos de sustituir agregado grueso convencional por siderúrgico en las propiedades físico-mecánicas de combinaciones asfálticas en caliente” El objetivo principal de este estudio fue identificar los impactos de reemplazar el agregado grueso convencional por escoria de acero en las propiedades físicas y mecánicas. A través de una metodología experimental, se evaluaron porcentajes de sustitución del 0%, 25%, 50%, 75% y 100% mediante ensayos Marshall. Se observó un aumento en el porcentaje de vacíos, densidad y estabilidad, así como un incremento en el flujo en concordancia con las cantidades crecientes de escoria de acero. La conclusión obtenida es que, para mejorar las propiedades físico-mecánicas de las combinaciones asfálticas, se recomienda incorporar un 12.56% de escoria de acero.

Calva y Muñoz [36], en su artículo científico “Estabilidad y flujo de combinaciones asfálticas en caliente incorporando escorias de acero” El propósito planteado fue la incorporación de escoria de acero en proporciones del 15%, 25%, 50% y 75% con respecto al peso del agregado grueso, con el fin de evaluar la estabilidad y el flujo de la combinación

asfáltica. Se utilizó el método de Marshall para medir la estabilidad y el flujo. Los resultados revelaron que las combinaciones con 15% y 25% de escoria de acero eran más estables que la combinación tradicional, cumpliendo con los parámetros adecuados para tránsito liviano y mediano. Por otro lado, las combinaciones con 50% y 75% también mejoraron la estabilidad y mantuvieron el flujo, aunque no cumplían con los requisitos granulométricos de la franja MAC-2. La conclusión extraída es que los porcentajes óptimos de incorporación para mejorar la estabilidad y conservar el flujo de las combinaciones asfálticas son del 15% y 25%.

La presente investigación contribuye a la comunidad científica la correcta secuencia de procedimiento de diseño de micro-pavimento, debido a que investigaciones consultadas no realizan el diseño definitivo que se conoce como Schulze Breuer and Ruck, debido a que, deducen que con los ensayos de rueda cargada (LWT) y Abrasión en húmedo (WTAT), se ha cumplido con la etapa de diseño, cuando es necesario que la mezcla pase los requerimientos del Schulze Breuer and Ruck, por ello, en esta investigación se propone realizar todos los ensayos de diseño correspondientes para un diseño óptimo de micro-pavimento.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo la adición del caucho y la escoria de acero como reemplazo de los áridos influyen en el diseño de micro-pavimentos?

1.3. Hipótesis

La adición de caucho mejora condiciones de diseño de micro-pavimento de la combinación asfáltica

Sustituir la arena chancada por la escoria de acero mejora las condiciones de diseño de la combinación asfáltica

1.4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el comportamiento de caucho reciclado CR y escoria de acero en una combinación asfáltica en frío para diseño de micro-pavimento.

Objetivos específicos

- Evaluar la calidad de los agregados a ser utilizados en la combinación asfálticas que cumplan con los requerimientos de micro-pavimento.
- Evaluar el comportamiento de la combinación asfáltica en frío patrón y con la adición de caucho de neumáticos reciclados (5%, 8%, 10% y 12%).
- Evaluar la escoria de acero (5%, 10%, 15% y 20%) como sustituto del agregado (arena chancada) en la combinación asfáltica en frío.
- Realizar la combinación patrón someterla a los ensayos de diseño de micro-pavimento.
- Analizar y realizar los ensayos de diseño de micro-pavimento a las combinaciones asfálticas con porcentajes óptimos.

4 1.5. Teorías relacionadas al tema

Micro-pavimento

El micro-pavimento se destaca como una técnica esencial en el mantenimiento preventivo de carreteras, en este contexto, la industria de la construcción de carreteras y el urbanismo se concentran en mejorar el diseño y la optimización del micro-pavimento como una forma de combinación asfáltica protectora, el objetivo principal es lograr una combinación óptima de rendimiento y durabilidad, en consecuencia, la calidad y el desempeño del micro-pavimento desempeñan un papel fundamental en la formulación de estas combinaciones asfálticas [37].

Aplicación del micro-pavimento

Una de las principales utilidades consiste en su aplicación como medida preventiva en pavimentos con deterioros moderados a leves. Esto conduce a una mejora notable en la resistencia al deslizamiento, la suavidad, la impermeabilidad y la gestión del desgaste del pavimento. Además, contribuye a la reparación de surcos y fisuras en la superficie del pavimento. [8]. Se ejecuta la aplicación de un micro-pavimento sobre la capa de rodadura,

con un espesor uniforme ajustado a su vida útil, determinada por la categoría de tráfico. Este recubrimiento tiene la función de impermeabilizar y reducir la pérdida de agregados, con el propósito de preservar la capa asfáltica en condiciones óptimas.

Ventajas del Micro-pavimento

Miranda [38] da a conocer que posterior a la realización de análisis económicos en los ciclos de vida útil y una evaluación de estudio ambiental usando factores de emisión se llega a la conclusión que los micro-pavimentos generan beneficios tanto económica como ambientalmente. Así también Miranda [38] plantea que es la solución de mantenimiento más económica y capaz de extender la vida útil del pavimento restaurando la resistencia al deslizamiento y generando una reducción del ruido.

Emulsión asfáltica

La emulsión bituminosa modificada con polímeros (PMBE) tiene mejores características térmicas y mecánicas que el betún no modificado para su uso en combinaciones de sellado de virutas, sellos de lechada y micro pavimentos, la emulsión consiste en la fina dispersión de partículas de agua y asfalto, las diminutas gotas de asfalto deben de mantenerse dispersas de una manera uniforme siempre que se encuentren en su forma acuosa debido a la intervención de un agente emulsificante – Surfactante – lo cual genera una repulsión suficiente para preservar la estabilidad del sistema hasta el momento de su aplicación. cuyo objetivo se basa en la mejora de las características resistentes [37].

Características de la emulsión asfáltica

De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones [39], La terminología "emulsión asfáltica" proviene de la combinación de H₂O, cemento asfáltico y emulsificante. Este compuesto, al entrar en contacto con el material pétreo, genera una inestabilidad que resulta en su ruptura. Este proceso permite que las partículas de asfalto se adhieran al material pétreo. Posteriormente, este material modificado se utiliza en diversas aplicaciones, como riegos de imprimación y liga, sellos de arena-asfalto.

Propiedades de la emulsión asfáltica

Según Águila y Márquez [40], definen que las emulsiones asfálticas según el tipo de emulsificante (catiónicas, aniónicas y no iónicas), de acuerdo a la velocidad de rotura del asfalto (rápida, media, lenta y controlada), adicionalmente dan a conocer que cada tipo de emulsión tiene una finalidad diferente.

Emulsión de rotura rápida

Según Rojas [41], define que este tipo de emulsiones al entrar en contacto con los agregados forman una capa relativamente gruesa, siendo de esta manera su aplicación con equipos y maquinarias que permitan el método de aplicación por aspersion. Generalmente este tipo de actividades se vienen realizando en proyectos de ingeniería vial, dando como resultado un buen desempeño en distintas zonas geográficas y climas.

Emulsión de rotura media

Rojas [41] define que este tipo de emulsiones presentan una propiedad intrínseca de combinarse con los agregados y proporcionar un tiempo de rotura no instantáneo, brindando una trabajabilidad mayor con respecto al tiempo estándar, esto se debe a los grados CRM que presentan y las viscosidades elevadas que controlan los escurrimientos.

Emulsión de rotura lenta

Este tipo de emulsión brinda un nivel alto de estabilidad debido a la combinación de agregados muy finos, generando que los periodos sean mayores de lo usual ya que se tiene como objetivo una mayor trabajabilidad con el material y así generar un trabajo adecuado, por otro lado, se obtienen viscosidades menores en comparación las emulsiones MS [41].

Emulsión de rotura controlada

Este tipo de emulsiones se diseñan para trabajos específicos en los cuales se tiene como finalidad conseguir periodos cortos de curado, los trabajos realizados con este tipo de emulsiones se realizan con equipos mecanizados capaces de contener la emulsión CQS-1hP

y otros componentes como el filler, agua, agregados y aditivos, generando resultados instantáneos tales como la reducción de la interrupción de tráfico para el desarrollo de trabajos en la vía, diferenciándose y generando mejoras en comparación con las emulsiones convencionales, generan un incremento en la durabilidad y gradúa los índices de temperatura de la estructura del pavimento, afectando la elasticidad y rigidez en relación con los índices de temperatura indicados [41].

Tabla 1.

Requerimientos de los ensayos de la emulsión asfáltica.

Ensayos sobre emulsión	Método ASTM	Unidades	Especificaciones	
			Mínimo	Máximo
Viscosidad saybol furol 25°C	D 7496	Ssf	20	100
3 Contenido de asfalto residual	D 6997	%	62	-
Contenido de disolventes	D 6997	%	-	-
Estabilidad al almacenamiento. 24 hrs, %	D 6930	%	-	1.0
Prueba del tamiz N°	D 6933	%	-	0.1
Carga de partícula	D 7402			Positiva

Nota. Ensayos básicos para las emulsiones asfálticas. Fuente: Ficha técnica emulsión asfáltica

Calidad de agua

En cuanto a la calidad de agua esta debe ser la mejor, debe estar purificada y sin presencia de materia álcalis o similares comprendiendo un nivel de pH que oscila los rangos de 5.5 a 8.0 y el contenido de sales no debe de ser superior a 3.000 ppm [39].

4 Caracterización de los agregados

Los materiales pétreos a utilizar deben ser pulcros, de forma angular, resistentes y con una buena gradación, su clasificación debe llevarse a cabo en áreas designadas para tal fin, asegurando que no se genere contaminación ni separación indeseada entre los mismos, las reservas se colocarán en superficies lisas, niveladas y libres de cualquier elemento

externo que pueda afectar la calidad, como vegetación o roca, así mismo, es imperativo eliminar cualquier fuente de contaminación potencial y garantizar un sistema de drenaje eficiente para prevenir la acumulación de agua en la reserva [41]. Los agregados deben atravesar un minucioso proceso de selección para la elaboración del diseño de un micro-pavimento; en caso no se use el material adecuado, se llegarían a generar irregularidades que no estén dentro de los parámetros de la normativa vigente, por ende, se presentan diferentes números de tamices para la verificación de los porcentajes y posteriormente la realización de una curva granulométrica.

Tabla 2.

Propiedades de los agregados para el diseño de micro pavimento.

Ensayos	Especificación	Requerimiento
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)		12% máx.
Abrasión Los Ángeles	ISSA A143	25% máx.
Equivalente de Arena		60% min.
Azul de Metileno		8% máx.
Adherencia (Riedel Weber)		4 min.

Tabla 3.

Granulometría de los agregados pétreos para micro pavimentos en frío.

Tamices		Bandas granulométricas Porcentaje en peso que pasa, %			
(mm)	(ASTM)	Tipo M-I	Tipo M-II	Tipo M-III	Tipo M-IV
12.5	(1/2")				100
10.0	(3/8")		100	100	85 - 98
5.0	(N° 4)	100	85 - 95	70 - 90	62 - 80
2.5	(N° 8)	85 - 95	62 - 80	45 - 70	41 - 61
1.25	(N° 16)	60 - 80	45 - 65	28 - 50	28 - 46
0.63	(N° 30)	40 - 60	30 - 50	18 - 34	18 - 34
0.315	(N° 50)	25 - 42	18 - 35	12 - 25	11 - 23
0.16	(N° 100)	15 - 30	10 - 24	7 - 17	6 - 15
0.08	(N° 200)	10 - 20	5 - 15	5 - 11	4 - 9

Nota. Tomado de Manual de carreteras

Tabla 4.

2 **Requerimientos de los agregados pétreos para micro pavimentos en frío.**

Ensayo	Norma	Exigencia
Partículas fracturadas	MTC E 210	100%
Durabilidad al sulfato de sodio	MTC E 209	Máx. 12%
Desgaste de los Ángeles	MTC E 207	Máx. 25%
Equivalente de arena	MTC E 114	Min. 60%
Azul de metileno	AASHTO TP 57	Máx. 8
Adherencia Riedel -Weber	MTC E 220	Min 4"
Adherencia Método Estático	ASTM F 1664	Min 95%

Nota. Tomado de Manual de carreteras

Relleno activo

Existe una amplia gama de materiales adecuados que se pueden utilizar como materiales de relleno, como cemento Portland, cal hidratada, piedra caliza en polvo, materiales finos triturados que pasan por el tamiz No. 200, cenizas volantes y más, en las combinaciones de micro pavimentos, el cemento y la cal hidratada se utilizan hasta un 3% y en una proporción de 0,25 a 0,75% (porcentaje del peso total del agregado), respectivamente [42].

Caucho granulado (CR)

El caucho utilizado, es obtenido de neumáticos reciclados que han sido procesados mediante la trituración, con la finalidad de obtener partículas de 2.36 mm de caucho la cual es aplicada en el diseño, las partículas de caucho se muestran en la Fig. 1.



Fig. 1. *Patrón de textura de caucho granulado*

Escoria de acero siderúrgica de alto horno.

La escoria utilizada en la investigación es escoria de acero de alto horno EAH, la cual pasó por proceso de trituración y se seleccionó del material que pasa el tamiz N°20. En la Fig. 2, se observa la escoria de acero antes y después del proceso de trituración la forma y textura del material.

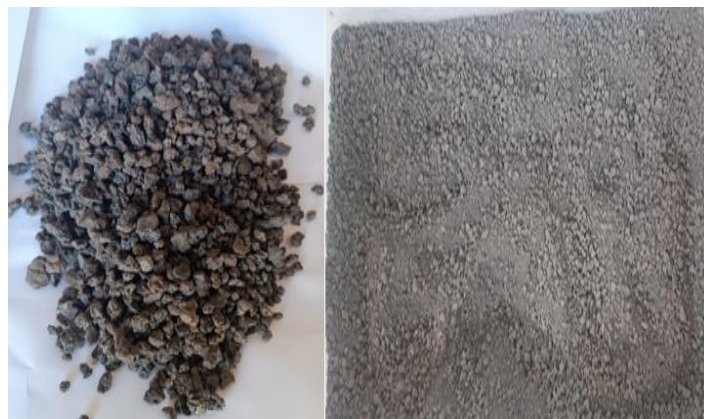


Fig. 2. *Patrón de textura de escoria de acero*

Ensayos a los agregados

El propósito principal de esta prueba es proporcionar una evaluación rápida y

correlativa en campo, indicando las proporciones de finos plásticos y arcillas con respecto a los diferentes polvos granulares que pasan por la malla N°4, aproximadamente de 4.75 mm [43]. La prueba de equivalente de arena se llevará a cabo siguiendo el método ASTM D 2419.

Azul metileno

Este método es de alta confiabilidad debido a que identifica y clasifica de forma precisa las arcillas, ya que se trata de una prueba cuantitativa donde la destreza del operador tiene un impacto mínimo en la determinación del límite plástico [44]. Además, esta prueba sigue las pautas estipuladas en la normativa AASHTO TP 57.

Peso unitario suelto

El método ASTM C29 se define como la densidad bruta o bruta, junto con la unidad de masa del agregado utilizado, la masa de la unidad de volumen del agregado y el volumen de los vacíos entre todas las partículas [48].

Normas de diseño

Para el diseño global del micro-pavimento, se recomienda seguir las pautas establecidas por la International Slurry Surfacing Association, conocida como ISSA A-143 y revisada en 2010. Además, es necesario cumplir con las especificaciones indicadas por la normativa American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) M-208, que se aplica a las emulsiones asfálticas, en cuanto a los ensayos a realizar, se está considerando la aplicación del método MTC E 403, la verificación de la viscosidad, residuos, entre otros, estará a cargo de la especificación CQS-1hp, en concordancia con las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) [44].

Un aspecto crucial a tener en cuenta es la recuperación elástica, la cual puede medirse mediante torsión o de manera lineal. Es decir, las emulsiones con una alta recuperación elástica exhibirán un comportamiento más elástico, siendo importante no descuidar el punto de ablandamiento, ya que los polímeros pueden influir en este aspecto

generando un aumento [42].

Ensayos de diseño de micro-pavimento.

Después de la selección de los agregados apropiados y la emulsión bituminosa correspondiente para las combinaciones diseñadas según la norma ISSA A143, se llevarán a cabo experimentos esenciales con los materiales. Posteriormente, se evaluará el rendimiento de las muestras a través de pruebas que incluyen la prueba de cohesión en condiciones húmedas (ISSA TB139), la prueba de abrasión en pista húmeda (ISSA TB100), la prueba de ruedas cargadas (ISSA TB109), y el método Schulze Breuer And Ruck [44].

Ensayo de cohesión húmeda

La prueba de cohesión en condiciones húmedas se lleva a cabo con el objetivo de determinar la cohesión, la resistencia al tráfico y el tiempo de curado, siguiendo la directriz ISSA TB 139, a partir de esta prueba, se establece la cantidad de carga mineral requerida en la combinación para lograr valores aceptables de torque de cohesión a los 30 minutos (evaluación del proceso de ruptura de la emulsión bituminosa), a los 60 minutos y después de 24 horas de curado, los valores de cohesión a los 30 minutos y 60 minutos pueden interpretarse tanto como la evaluación del proceso de ruptura de la emulsión bituminosa como la evaluación del tiempo de apertura al tráfico, respectivamente [42].

Ensayo de abrasión húmeda.

Para evaluar la resistencia a la abrasión y al deshilachado, así como el contenido mínimo de emulsión bituminosa, se llevó a cabo la prueba de abrasión en vía húmeda (WTAT) en las muestras de prueba, el procedimiento de prueba, conforme a la directriz ISSA TB 100, consiste en verter la muestra en el molde, curar a 60 °C durante 15 horas en un horno de tiro forzado, preparar durante 1 hora en agua a 25 °C, realizar pruebas de laboratorio bajo una manguera de goma reforzada durante 5 minutos a 25 °C, y finalmente, pesar las muestras secadas en el horno a 60 °C. Al concluir, la pérdida agregada se calculó mediante la diferencia de peso antes y después de la realización de la prueba [44].

Ensayo de rueda cargada.

Las pruebas ¹⁹ de rueda cargada (LWT) y adhesión de arena, según la pauta ISSA TB 109, se emplean para establecer el contenido máximo de emulsión bituminosa que garantice la resistencia máxima al sangrado, conforme a las especificaciones del procedimiento de prueba, la muestra preparada se somete a un secado de 24 horas en una estufa a 60 °C. Posteriormente, la muestra se coloca en el probador de ruedas cargadas y se compacta durante 1000 ciclos con un peso de 56,7 kg, después de estos ciclos, se esparce arena a 83 °C sobre la superficie de la muestra mediante un marco y se realizarán 100 ciclos adicionales. Los siguientes pasos incluyen la eliminación de la arena y el pesaje de la muestra. Finalmente, se registra el aumento de peso, el cual se informa como la adhesión de arena. Los resultados de la pérdida ²¹ por abrasión y la adhesión de arena se emplearán para determinar el contenido adecuado de betún residual [42].

² Ensayo de Schulze Breuer and Ruck

Este procedimiento se emplea para evaluar la semejanza entre agregados con una gradación específica utilizados como relleno y el residuo de betún emulsionado o asfalto. Además, este método proporciona un sistema integral de medición con respecto a la pérdida en la prueba de abrasión, asegurando la integridad y la adecuada adherencia de todas las partículas finas específicas, ya sea como parte de un agregado o como residuo de un asfalto emulsionado [37].

4. II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de la investigación.

Tipo de investigación

El tipo de investigación a trabajar en la presente es aplicado, la cual, según Ramos et al [31], se requiere de una aplicación práctica para obtener resultados y así resolver un problema específico, y en el presente proyecto de investigación si se debe tener el requerimiento de aplicaciones prácticas (ensayos) para poder realizar acabo un diseño óptimo de micro-pavimento con las variables mencionadas.

El enfoque de la investigación en el cual se desarrollará la presente es cuantitativo, la cual se basa en recolectar información en base a datos numéricos para así poder analizar de forma estadística los datos obtenidos, la cual se propone como una investigación centrada en la relación que tiene la ciencia con el método científico [46]. Para llevar a cabo la presente investigación se deben realizar ensayos de laboratorio donde se obtendrán datos numéricos que nos ayudarán a la toma de decisiones para realizar el diseño de micro-pavimento.

2. Diseño de investigación

El diseño es experimental de nivel cuasi – experimental para Chávez et al [47], este estudio es básicamente un plan donde se estudia el impacto de los tratamientos realizados o procesos de cambios con lo que se pueden realizar con ajustes estadísticos donde los sujetos para la observación no fueron asignados de acuerdo a un proceso aleatorio. En la presente investigación lo que se realizará es un estudio de cantera en donde se hará visita y reconocimiento del lugar y se extraerá el material pétreo que será utilizado en la investigación, aplicando los ensayos correspondientes, en este caso el criterio de evaluación será la norma MTC-2013. Para la investigación se requiere de un tratamiento-control, en el cual se deben comparar los diseños obtenidos al aplicar cada porcentaje y así comparar, para poder desprejar los efectos de las variables.

1 G₁ X₁ O₁

G₂ X₂ O₂

G ₃	X ₃	O ₃
G ₄	X ₄	O ₄
G ₅	----	O ₅
G ₆	X ₆	O ₆

G ₇	X ₇	O ₇
G ₈	X ₈	O ₈
G ₉	X ₉	O ₉
G ₅	---	O ₅

Dónde:

- G_{1,2,3,4}: Grupos experimentales.
- G_{6,7,8,9}: Grupos experimentales.
- G₅: Grupo control (patrón)
- X_{1,2,3,4}: Tratamiento del grupo experimental que constituye la adición de CNR, dónde:
X₁= 2%CNR, X₂= 3%CNR X₃= 4%CNR, X₄ = 5%CNR.
- X_{6,7,8,9}: Tratamiento del grupo experimental que constituye la sustitución de arena por EA, dónde: X₆= 5%EA, X₇= 10%EA, X₈= 15%EA, X₉= 20%EA.
- ---: No se sustituye caucho ni PET reciclado.
- O_{1,2,3,4}: Observación aplicada a las variables independientes, combinación asfáltica con CNR.
- O₅: Observación aplicada a la variable dependiente, combinación asfáltica patrón.
- O_{6,7,8,9}: Observación aplicada a las variables independientes, combinación asfáltica con EA.

2.2. Variable, Operacionalización

Se pueden identificar dos conjuntos de variables, siendo la variable independiente aquella que el investigador manipula para observar cómo afecta a otra variable de estudio. En cuanto a la variable dependiente, esta está determinada por un fenómeno distinto y puede ser considerado como el resultado o la consecuencia de la investigación [71].

Variable Dependiente (VD):

Micro pavimento con combinación asfáltica

Variable Independiente (VI):

Caucho reciclado y escoria de acero

Operacionalización

1 **Tabla V**

Operacionalización de Variable Dependiente

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Micro pavimento con combinación asfáltica	El micro pavimento se destaca como una técnica esencial en el mantenimiento preventivo de carreteras, en este contexto, la industria de la construcción de carreteras y el urbanismo se concentran en mejorar el diseño y la optimización del micro pavimento [37].	Se evaluará las propiedades mecánicas del micro pavimento con combinación asfáltica.	Proporciones de diseño	Dosificación en volumen	m ³	1 Observación y revisión documentaria – Fichas de observación y equipos de laboratorio.	%	Variable numérica	De razón
			Propiedades mecánicas	Abrasión en húmedo	g/m ²				
				Rueda cargada	g/m ²				
				Ensayo de cohesión	Kg/cm				
				Schulze Breuer and Ruck	g/m ²				

Tabla VI

Operacionalización de Variable Independiente 1

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Caucho de neumático reciclado (CR)	El caucho reciclado se obtiene a partir de neumáticos descartados en vertederos y talleres de mecánica, y se utiliza sin separar los componentes textiles ni de acero de su composición [49].	Se evaluará las propiedades mecánicas del micro pavimento con combinación asfáltica con presencia de CR.	Proporciones de diseño	5%	Kg	Observación y revisión documental – Fichas de observación y equipos de laboratorio.	%	Variable numérica	De razón
				8%	Kg				
				10%	Kg				
				12%	Kg				
			Propiedades mecánicas	Abrasión en húmedo	g/m ²				
				Rueda cargada	g/m ²				
				Ensayo de cohesión	Kg/cm				
	Schulze Breuer and Ruck	g/m ²							

Tabla VII

Operacionalización de Variable Independiente 2

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Escoria de acero (SS)	Las escorias de acero son el resultado secundario generado durante el proceso de fundición, utilizado para la purificación de metales [37].	Se evaluará las propiedades mecánicas del micro pavimento con combinación asfáltica con presencia de SS.	Proporciones de diseño	5%	Kg	Observación y revisión documentaria – Fichas de observación y equipos de laboratorio.	%	Variable numérica	De razón
				10%	Kg				
				15%	Kg				
				20%	Kg				
			Propiedades mecánicas	Abrasión en húmedo	g/m ²				
				Rueda cargada	g/m ²				
				Ensayo de cohesión	Kg/cm				
	Schulze Breuer and Ruck	g/m²							

2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

2.3.1. Población

La población se define como cierto conjunto de elementos que están unidos entre sí, por tener características que se estudiarán [50]. Con respecto a nuestra población a tratar en nuestra investigación corresponde a las 81 muestras analizadas que contenían caucho triturado obtenido a partir de neumáticos reciclados y la escoria de acero de alto horno, obtenida a partir de residuos de la planta siderúrgica SIDERPERÚ.

2.3.2. Muestra

La muestra se define como una parte representativa de la población, cuando la distribución y valor de esta muestra se puede obtener márgenes de error mínimos [51]. De un total de 81 muestras realizadas, 9 briquetas muestras del micro pavimento patrón, 36 muestras de micro pavimento con la incorporación de caucho de neumático reciclado, 36 muestras con la incorporación de la capa de micro pavimento con reemplazo de escoria de acero del agregado grueso.

Tabla 5

Muestreo

Ensayo	Degaste de abrasión en húmedo	Resistencia a la abrasión	Inmersión en agua	Parcial	Total
Briqueta patrón (unidades)	3	3	3	9	
Incorporación de CNR 5%(unidades)	3	3	3	9	
Incorporación de CNR 8%(unidades)	3	3	3	9	
Incorporación de CNR 10%(unidades)	3	3	3	9	
Incorporación de CNR 12%(unidades)	3	3	3	9	81
Sustituir la EA 5% por AG (unidades)	3	3	3	9	
Sustituir la EA 10% por AG (unidades)	3	3	3	9	
Sustituir la EA 10% por AG (unidades)	3	3	3	9	
Sustituir la EA 20% por AG (unidades)	3	3	3	9	

Nota. Cantidad de briquetas a elaborar.

2.3.3. Muestreo

Se refiere a las unidades que serán examinadas dentro de una selección previamente definida, y desempeña un papel fundamental en la metodología y diseño de varias investigaciones [52]. En esta investigación, se utiliza un muestreo aleatorio simple de naturaleza probabilística, ya que este método de selección posibilita que todos los elementos de la población tengan la oportunidad de ser incluidos en la muestra [52].

2.3.4. Técnica de selección de datos

Criterios de inclusión: En esta situación, se contempla la definición de los límites geográficos del área de investigación, asegurándose de que todos los materiales proceden de la ciudad de Chiclayo, ubicada en la región de Lambayeque. Se limitará el análisis únicamente a las briquetas que contengan CR y SS.

Criterios de exclusión: En esta situación, se contempla la definición de los límites geográficos del área de investigación, excluyendo a todos los materiales que no procedan de la ciudad de Chiclayo, ubicada en la región de Lambayeque, además de que no se considerará a las briquetas que no contengan CR y SS.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas de recolección de datos.

a. Observación

Es un enfoque de recopilación de datos que implica observar el objeto de estudio en una situación específica, este método se caracteriza por no intervenir ni alterar el entorno en el que se encuentra el objeto, ya que cualquier interferencia podría afectar la validez de los datos obtenidos [50].

b. Revisión documental

Se trata de una técnica de observación adicional, especialmente útil al documentar acciones y programas, proporciona una visión del desarrollo y las peculiaridades de los procesos, así como información que puede ser confirmada o cuestionada [50].

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos.

Los instrumentos de recopilación de datos registran información acerca de las variables que se pretenden medir, las cuales están directamente relacionadas con la formulación del problema, así como con la pregunta de investigación y los objetivos, tanto generales como específicos [50].

Tabla 6.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumentos	Fuente
Análisis y evaluación de las propiedades físicas del caucho y escoria de acero.	Ensayos de laboratorio	- Contenido de humedad - Peso específico - Análisis granulométrico por tamizado
Análisis y evaluación de las propiedades mecánicas del caucho y escoria de acero	Ensayos de laboratorio	- Proctor Estándar - CBR - Partículas Chatas y alargadas - Partículas Fracturadas
Diseño de combinación asfáltica	Ensayos de laboratorio	- Ensayo de abrasión en Húmedo. (ISSA TB – 100) - Ensayo de rueda cargada. (ISSA TB-103) - Ensayo Schulze Breuer and Ruck (ISSA TB – 144).

Nota: Esta tabla nos muestra las técnicas que se emplearán para determinar las propiedades físicas y mecánicas del micro pavimento.

2.4.3. Validez y confiabilidad de datos

- Validez interna

Para el cálculo y análisis de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio de la Universidad Señor de Sipán, en el cual se realizarán las briquetas para determinar el comportamiento de la combinación asfáltica según la normativa vigente para pavimentos, el

cual con la presencia del técnico Wilson Olaya Aguilar el cual indicará la veracidad y fiabilidad de los resultados.

- **Validez externa**

La validez y la autenticidad de los apuntes y cálculos realizados por el autor está avalada por todos los resultados de la investigación previamente certificados por el técnico responsable del laboratorio.

- **Objetividad**

Este ítem nos permite revisar que los objetivos planteados en la investigación sean resueltos en su complejidad.

- **Fiabilidad**

Permite realizar los procesos adecuadamente ya que hay información existente repartido en ensayos, prácticas y distintos métodos de acuerdo a las normas ASTM, AASHTO, ISSA.

4 2.5. Procedimiento de análisis de datos

2.5.1. Diagrama de flujo de procesos

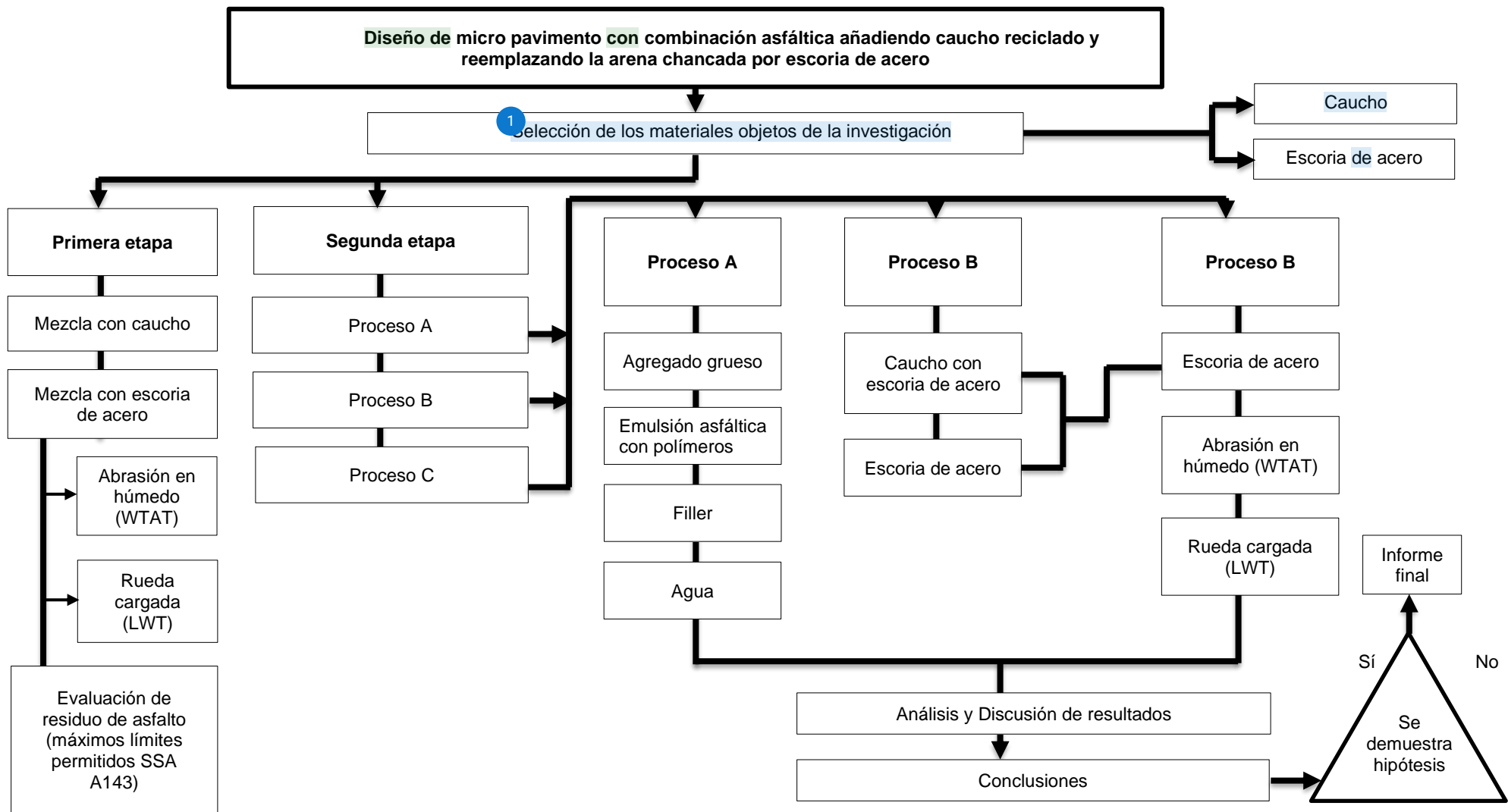


Fig. 3. Diagrama de flujo de procesos.

2.5.2. Descripción de procesos

Para determinar el análisis²⁴ de las propiedades físicas de la combinación asfáltica que conformará la capa del micro pavimento, se tendrá que analizar de acuerdo a los lineamientos⁴ establecidos por la Norma Técnica Peruana y apoyándose en las normas ASTM, donde se tendrá que evaluar el desempeño físico de la combinación mencionada.

En el análisis⁴ de las propiedades mecánicas de la combinación asfáltica se realizarán los ensayos que comprende la norma técnica peruana, donde se debe verificar que la combinación cumpla con los requisitos de resistencia, durabilidad, calidad y así obtener un diseño óptimo.

Mediante un análisis, basándose en la norma técnica peruana se debe calcular cual es el porcentaje óptimo de las variables estudiadas, en que la combinación llega alcanzar un diseño que ofrezca una mejora de condiciones de reforzamiento de pavimentos. Para el²⁹ diseño de la combinación asfáltica se toma en consideración la secuencialidad del método de diseño Marshall–ASTM D 1559, tomando también como referencia la norma técnica peruana.

Realizar una comparación entre las combinaciones asfálticas obtenidas con cada variable, y una combinación convencional para determinar la implicancia de mejora que tiene la incorporación de estas.

2.6. Criterios éticos

Las normas morales y éticas son estipuladas por el código de Ingenieros del Perú, en el cual se establece los valores y deberes que los ingenieros deben cumplir y respetar al ofrecer los servicios, evitando de esta manera que puedan ser sancionados. (CIP, 2012). Los principios éticos se rigen por el código ético⁴ de la Universidad Señor de Sipán, que enfatiza la promoción y defensa de la integridad, honor y dignidad en el ejercicio profesional, según lo establecido en el capítulo I del mismo, así también especifica los valores, normas morales y éticas que deben ser observados al comenzar las responsabilidades, con el objetivo de proporcionar servicios sin incurrir en sanciones.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Con respecto al primer objetivo estudio de canteras

Todos los materiales pétreos empleados en la capa de rodadura están expuestos a la acción abrasiva del tráfico. En el caso de que estos materiales no posean la suficiente dureza para resistir un desgaste rápido, el pavimento puede volverse peligrosamente resbaladizo cuando está húmedo. La mayoría de los materiales pétreos resistentes pueden utilizarse con éxito en tratamientos de superficie. La resistencia a la abrasión de estos materiales puede evaluarse mediante el ensayo Los Ángeles (conforme a ASTM C 131, AASHTO T 961). Además, es fundamental que los materiales pétreos seleccionados cumplan con los requisitos funcionales en cuanto a tamaño, forma y limpieza.

La evaluación de las canteras abarca la identificación, investigación y verificación de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los materiales pétreos inertes. Únicamente se elegirá aquella cantera que demuestre que la cantidad y calidad de los materiales disponibles son apropiadas y suficientes para la construcción completa de la estructura. Se llevará a cabo el análisis de los resultados de los ensayos realizados en los agregados obtenidos de las canteras mencionadas a continuación:

Cantera 1:

Agregado fino: Cantera Asfalpaca – Tres Tomas - Ferreñafe

Cantera 2:

Agregado fino: Cantera Chancadora Las Palmas - Ferreñafe

Cantera 3:

Agregado fino: Cantera Chancadora Sicán - Ferreñafe

Se llevaron a cabo las siguientes acciones en el análisis de las canteras:

Exploración en el terreno del área identificada como cantera para la obtención de materiales granulares.

- Recolección de 1 muestra representativa de la cantera.
- Realización de pruebas de laboratorio con el propósito de obtener información relevante para el proyecto, incluyendo pruebas de granulometría, equivalente de arena, peso específico, durabilidad del agregado, abrasión, azul de metileno y adherencia de Riedel-Weber, especialmente para la arena.

4 Ubicación del proyecto

El proyecto se desarrollará en la provincia de Chiclayo – departamento de Lambayeque.



Fig. 4. Ubicación de cantera Asfalpaca - Tres Tomas – Ferreñafe.

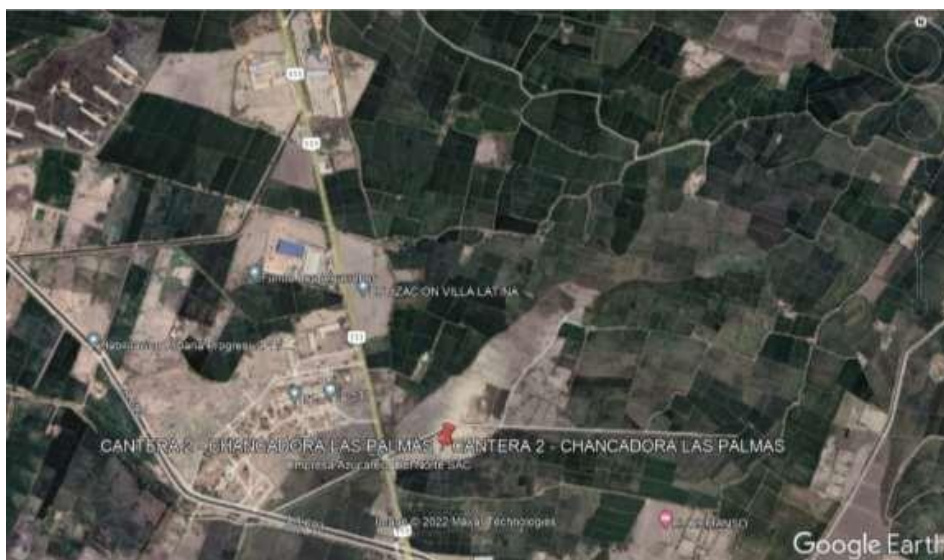


Fig. 5. Ubicación de cantera Chancadora Las Palmas

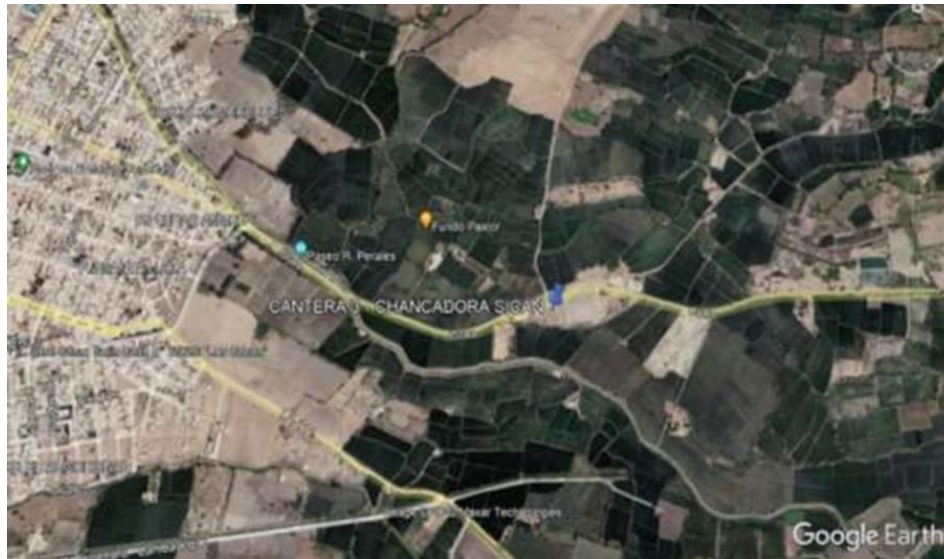


Fig. 6. Ubicación de la cantera Chancadora Sicán – Ferreñafe.

8 Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

Resultados del análisis de canteras.

En este análisis, se evalúa la gradación del agregado, comenzando por la clasificación Tipo I, Tipo II, Tipo III y Tipo IV según la normativa MTC EG-2013. Según los datos recopilados en esta investigación, se verifica que la gradación correspondiente es la Tipo III, como se detalla en la tabla 10.

Tabla 7.

Resultados de arena chancada - Cantera Asfalpaca

1 ENSAYOS DE LABORATORIO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
	RANGOS (%)	RESULTADO (%)	OBSERVACIÓN
Contenido de humedad	-	0.83	CUMPLE
Bandas granulométricas	TIPO M-III	OK	CUMPLE
Durabilidad	Máx. 12%	8.82	CUMPLE
Desgaste de los ángeles	Máx. 25%	21.6	CUMPLE
Equivalente	Máx. 60%	67	CUMPLE
Azul metileno	Máx. 8%	4.09	CUMPLE
Adherencia Riedel-Weber	Mín. 4*	5	CUMPLE

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados en la Cantera 01, se concluye que el material examinado de esta cantera es adecuado para la aplicación en micro pavimento, ya que cumple con las especificaciones técnicas establecidas en la norma ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN (EG-2013).

Tabla 8.

Resultados de los ensayos a los agregados Chancadora Las Palmas – Ferreñafe.

ENSAYOS DE LABORATORIO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
	RANGOS (%)	RESULTADO (%)	OBSERVACIÓN
Contenido de humedad	-	0.42	-
Bandas granulométricas	TIPO M-III	OK	CUMPLE
Durabilidad	Máx. 12%	11.77	CUMPLE
Desgaste de los ángeles	Máx. 25%	27.8	NO CUMPLE
Equivalente	Máx. 60%	53	NO CUMPLE
Azul metileno	Máx. 8%	9.55	NO CUMPLE
Adherencia Riedel-Weber	Mín. 4*	3	NO CUMPLE

Nota: Los resultados realizados muestran que los agregados de la cantera 02 no cumplen algunos requerimientos del MTC EG-2013.

Tabla 9.

Resultados de los ensayos a los agregados Chancadora Sicán – Ferreñafe.

ENSAYOS DE LABORATORIO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
	RANGOS (%)	RESULTADO (%)	OBSERVACIÓN
Contenido de humedad	-	0.93	-
Bandas granulométricas	TIPO M-III	OK	CUMPLE
Durabilidad	Máx. 12%	14.08	NO CUMPLE
Desgaste de los ángeles	Máx. 25%	30.4	NO CUMPLE
Equivalente	Máx. 60%	49	NO CUMPLE
Azul metileno	Máx. 8%	8.96	NO CUMPLE
Adherencia Riedel-Weber	Mín. 4*	2	NO CUMPLE

Nota: Los resultados realizados muestran que los agregados de la cantera 03 no cumplen algunos requerimientos del MTC EG-2013.

Debido a los resultados obtenidos, solo la cantera 01 – Cantera Asfalpaca cumple con los requisitos establecidos por la normativa peruana MTC EG – 2013, la cual las muestras seleccionadas para los ensayos correspondientes de diseño de micro pavimento, serán tomados a partir de ello.

Una vez realizado el estudio de canteras se procedió a realizar los ensayos para la etapa de diseño, en donde la normativa a seguir para esta etapa son las normas ISSA (International Slurry Surfacing Association, 2010) [48].

Agregados

La gradación estará especificada en la Fig. 7, la granulometría del material cumple con el uso granulométrico tipo III de la especificación la guía.

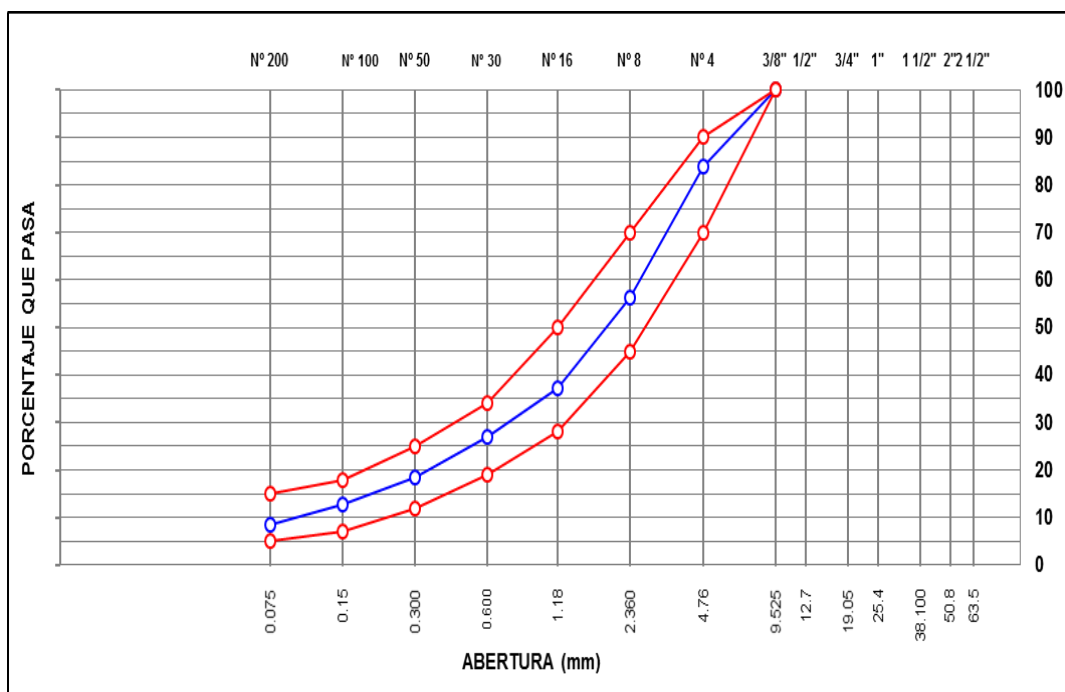


Fig. 7. Curva granulométrica de los agregados.

En la Tabla 13, se tiene los ensayos especificados en la guía de diseño para las propiedades físicas de los agregados, la cual el material utilizado cumple con todos los requerimientos, teniendo valores dentro de los límites permitidos, de la guía para diseño de micro pavimento.

Tabla 10.

¹⁸ *Propiedades de los agregados para el diseño de micro pavimento. Normas ISSA A-143.*

Ensayos	Especificación	Requerimiento	Resultados	Observaciones
³ Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)		12% máx.	8.82%	Cumple
Abrasión Los Ángeles		25% máx.	21.6%	Cumple
Equivalente de Arena	ISSA A-143	60% min.	73%	Cumple
Azul de Metileno		8% máx.	5%	Cumple
Adherencia (Riedel Weber)		4 min.	5min	Cumple

Nota: Los resultados de los agregados son aptos y cumplen las condiciones de diseño según las normas ISSA A-143.

Adicionalmente para una etapa preliminar, se evaluaron los ensayos según el MTC EG-2013.

Emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica utilizada en la investigación es modificada con polímeros en CQS-1hp. ²⁸ En la Tabla 14, se muestra los ensayos que se requieren en la emulsión asfáltica para el diseño, establecidos en la norma ASTM, donde el producto cumple con las especificaciones de calidad.

Tabla 11.

⁷ *Ensayos sometidos a la emulsión asfáltica.*

Ensayos sobre emulsión	Método ASTM	Unidades	Especificaciones		Resultado
			Mínimo	Máximo	
Viscosidad saybol furol 25°C	D 7496	Ssf	20	100	35
³ Contenido de asfalto residual	D 6997	%	62	-	62.5
Contenido de disolventes	D 6997	%	-	-	0
Estabilidad al almacenamiento. 24 hrs, %	D 6930	%	-	1	0.7
Prueba del tamiz n° 20	D 6933	%	-	0.1	0
Carga de partícula	D 7402			Positiva	Positiva

Tabla 12.*Ensayos sobre el residuo de la emulsión asfáltica.*

Ensayos sobre emulsión	Método ASTM	Unidades	Especificaciones EG 2013 / ASTM D 2397		Resultados
			Mín.	Máx.	
Penetración, 25 °C, 100g, 5s	D5	3 mm	40	90	61
Punto De Ablandamiento	D 36	°C	57	-.	57
Ductilidad, 25°C 5cm/min, cm	D113	Cm	40	-.	80
Solubilidad en Tricloroetileno	D2042	%	97.5	-.	99.62

Nota: Son datos extraídos de la ficha técnica de la emulsión asfáltica.

Filler mineral y agua

Se utilizó cemento portland tipo I como filler mineral, la norma ISSA A143, (17) brinda parámetros para la adición filler debe ser entre 0% a 3%, se utiliza con la finalidad de mejorar las características de la combinación como la cohesión, minimizar la separación de agregados y como controlador del tiempo de rotura de la emulsión bituminosa en el micro pavimento, teniéndose en consideración para la investigación 0.3% del peso total del agregado natural y el agua añadida fue tipo agua potable con pH igual a 7.6.

Con respecto al segundo objetivo determinar los resultados de la combinación de micro pavimento control (MP)

Luego de proceder a realizar los especímenes de la combinación patrón, se procedió a someterla a los ensayos de abrasión en húmedo WTAT y rueda cargada LWT, con la finalidad de determinar el mínimo contenido de emulsión asfáltica y el máximo respectivamente.

Ensayo de rueda cargada.

En la prueba de rueda cargada, se persigue determinar el contenido óptimo de emulsión asfáltica en la combinación de micro pavimento y, al mismo tiempo, evaluar las exudaciones de la combinación. Por esta razón, se procederá a realizar ensayos en cinco

muestras con variaciones de contenido de emulsión, comenzando desde el 9.0% y aumentando hasta alcanzar el 15.5%.

Ensayo de abrasión en húmedo.

Asimismo, se llevó a cabo la prueba con cinco combinaciones que abarcan contenidos de asfalto en un rango de 9.0% a 15.5%, con el objetivo de verificar si la pérdida por abrasión cumple con los requisitos establecidos.

a. Mezcla de control – Mezcla Patrón.

Tabla 13.

Resultados del ensayo de rueda cargada LWT de mezcla patrón.

Datos del ensayo						
Mezcla N°	Cont. de agua (%)	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso arena + mezcla + plato	Exc. asfalto (g/m ²)	Especificación
1		9.0	414.3	415.2	102.0	
2		10.5	426.6	428.2	166.4	
3	10.0	12.0	446.2	448.8	236.2	<538g/m ²
4		14.0	448.1	451.1	306.7	
5		15.5	452.3	456.0	408.0	

La mezcla con los agregados naturales, muestra resultados aceptables, todos los resultados de exudación están dentro del límite establecido por las normas ISSA y se muestran en la Fig. 8.



Fig. 8. Resultados de ensayo LWT con mezcla patrón.

Tabla 14.

Resultados del ensayo de abrasión en húmedo WTAT de mezcla patrón.

Datos del ensayo					
Mezcla N°	Contenido emulsión (%)	Peso mezcla + plato	Peso mezcla + plato (g)	Perdida por abrasión (g/m ²)	Especificación
1	9.0	2582.3	2612.7	943.2	807 g/m² (máximo)
2	10.5	2676.3	2694.5	491.2	
3	12.0	2614.2	2623.5	269.1	
4	14.0	2648.1	2652.0	128.3	
5	15.5	2663.7	2664.8	63.8	

En este ensayo solo un espécimen excede el límite de pérdida por abrasión, especificado en las normas ISSA y se muestra en la Fig. 9.



Fig. 9. Resultados del ensayo WTAT de la mezcla patrón.

- b. Siguiendo con el segundo objetivo combinación asfáltica con la adición de 5% de CR en relación a los agregados.

Tabla 15.

Resultados del ensayo de rueda cargada LWT de mezcla con 5% CR.

Datos del ensayo						
Mezcla N°	Cont. de agua (%)	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso arena + mezcla + plato	Exc. asfalto (g/m ²)	Especificación
1	10.0	9.0	416.8	417.7	108.0	<538g/m²

2	10.5	430.1	431.7	171.2
3	12.0	448.5	451.1	303.8
4	14.0	450.2	453.2	389.7
5	15.5	453	456.7	475.5

Nota. En principio los resultados de los ensayos del LWT, se muestran favorables con porcentaje de 5%.

En la Fig. 10. Se observan que todos los valores están dentro de los rangos permitidos.

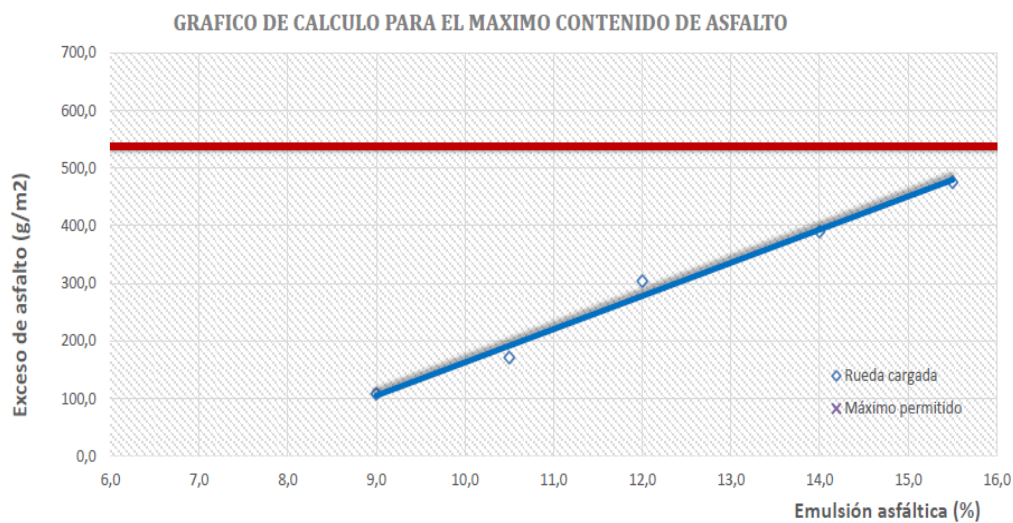


Fig. 10. Resultados de ensayo LWT con mezcla con adición de 5% de CR.

Tabla 16.

Resultados del ensayo de abrasión en húmedo WTAT de mezcla con 5% CR.

Datos del ensayo					
Mezcla N°	Contenido emulsión (%)	Peso mezcla + plato	Peso mezcla + plato (g)	Perdida por abrasión (g/m²)	Especificación
1	9.0	2611.8	2642.2	1158.0	807 g/m² (máximo)
2	10.5	2603.0	2621.2	556.8	
3	12.0	2597.2	2606.5	338.0	
4	14.0	2581.0	2584.9	216.1	
5	15.5	2560.3	2561.4	92.0	

Nota. En principio los resultados de los ensayos del WTAT, se muestran favorables con porcentaje de 5%.

En la Fig. 11. Se observan que solo un valor no se encuentra en el rango permitido.

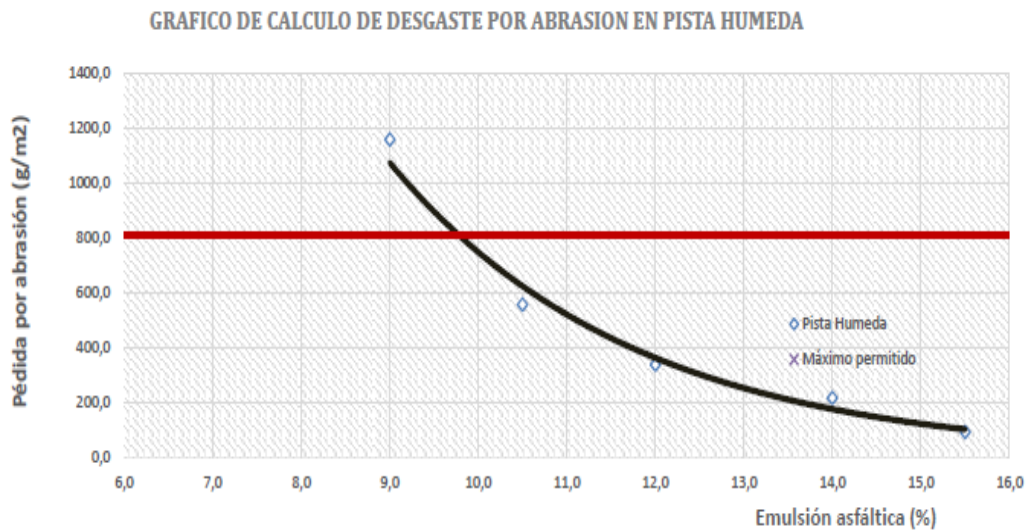


Fig. 11. Resultados del ensayo WTAT de la mezcla con adición de 5% de CR.

Combinación asfáltica con la adición de 8% de CR en relación a los agregados.

Tabla 17.

Resultados del ensayo de rueda cargada LWT de mezcla con 8% CR

Datos del ensayo						
Mezcla N°	Cont. de agua (%)	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso arena + mezcla + plato	Exc. asfalto (g/m²)	Especificación
1		9.0	422.3	423.2	115.0	
2		10.5	436.0	437.6	189.0	
3	10.0	12.0	452.2	454.8	346.0	<538g/m²
4		14.0	455.7	458.7	365.0	
5		15.5	460	463.7	528.0	

Nota. En principio los resultados de los ensayos del LWT, se muestran favorables con porcentaje de 5%.

En este ensayo aún con el porcentaje de adición de 8% de caucho aún están dentro de los rangos permitidos según las especificaciones ISSA y se puede ver en la Fig. 12.

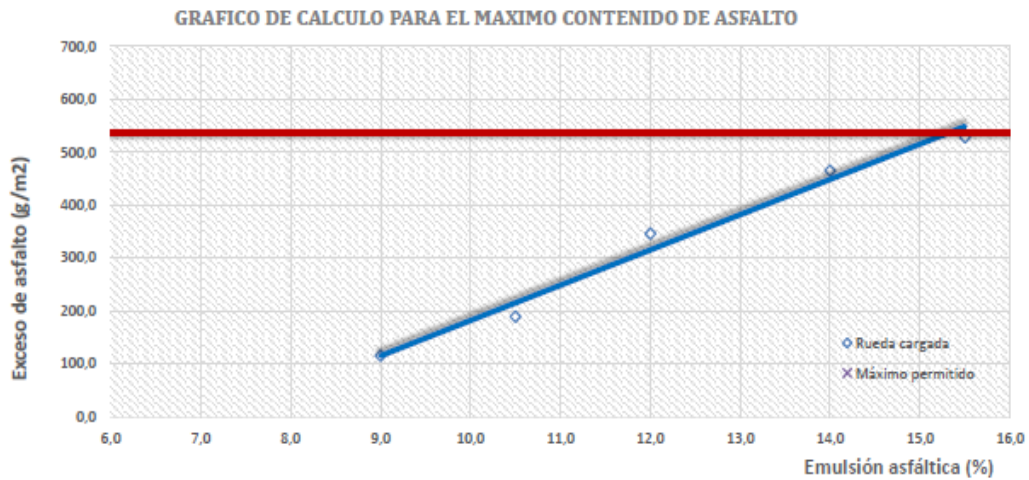


Fig. 12. Resultados de ensayo LWT con mezcla con adición de 8% de CR.

Tabla 18.

Resultados del ensayo de abrasión en húmedo WTAT de mezcla con 8% CR.

Datos del ensayo					
Mezcla N°	Contenido emulsión (%)	Peso mezcla + plato	Peso mezcla + plato (g)	Perdida por abrasión (g/m ²)	Especificación
1	9.0	2618.7	2649.1	1203.0	807 g/m² (máximo)
2	10.5	2637.4	2655.6	701.8	
3	12.0	2644.0	2653.3	433.0	
4	14.0	2650.0	2653.9	288.0	
5	15.5	2651	2652.1	96.0	

Estos datos numéricos están reflejados en la Fig. 13. Donde se observa que solo la mezcla con 9% de emulsión excede el límite de la especificación ISSA.

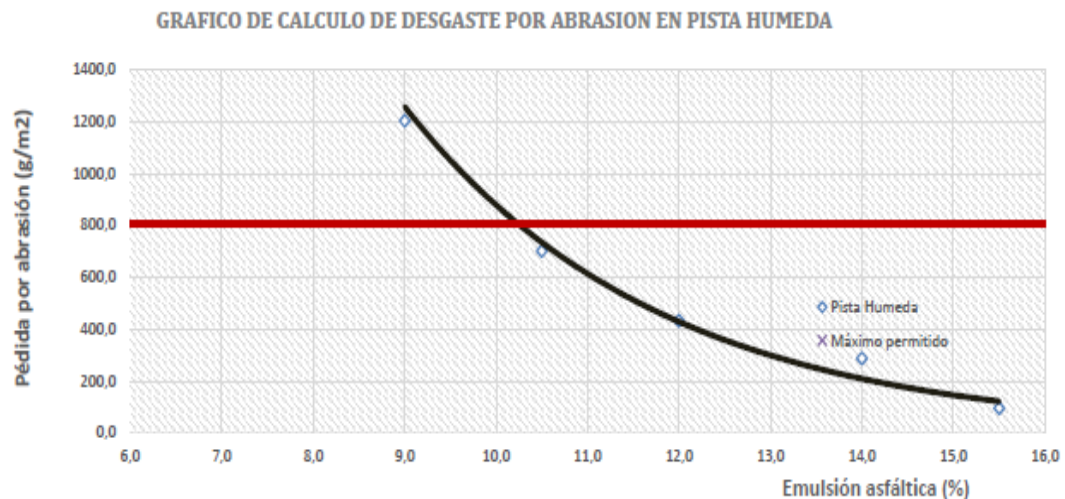


Fig. 13. Resultados del ensayo WTAT de la mezcla con adición de 8% de CR.

Combinación asfáltica con la adición de 10% de CR en relación a los agregados.

Tabla 19.

Resultados del ensayo de rueda cargada LWT de mezcla con 10% CR.

Datos del ensayo						
Mezcla N°	Cont. de agua (%)	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso arena + mezcla + plato	Exc. asfalto (g/m ²)	Especificación
1		9.0	426.8	427.7	121.0	
2		10.5	441.0	442.6	202.6	
3	10.0	12.0	459.7	462.3	378.2	<538g/m²
4		14.0	462.0	465.0	562.2	
5		15.5	464.1	467.8	681.2	

En los siguientes datos se observa que ya los valores se empiezan a superar el límite de exudación especificado en la norma ISSA y se observa en la Fig.14.

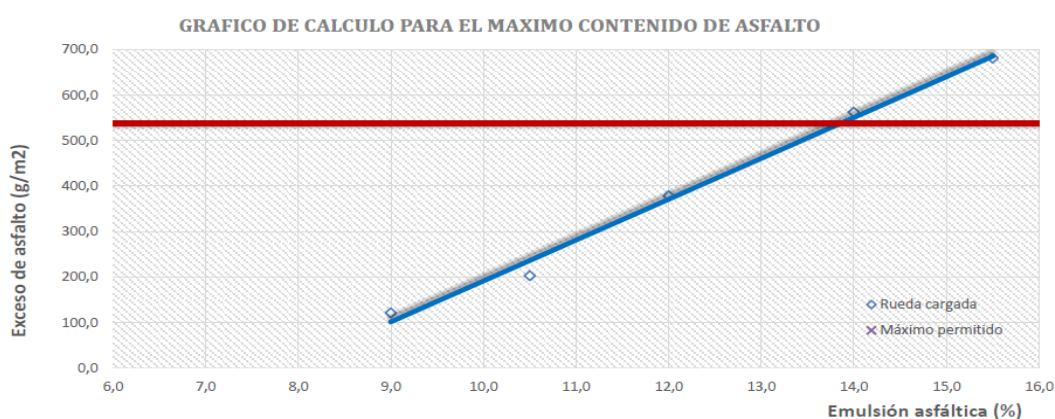


Fig. 14. Resultados de ensayo LWT con mezcla con adición de 10% de CR.

Tabla 20.

Resultados del ensayo de abrasión en húmedo WTAT de mezcla con 10% CR.

Datos del ensayo					
Mezcla N°	Contenido emulsión (%)	Peso mezcla + plato	Peso mezcla + plato (g)	Perdida por abrasión (g/m ²)	Especificación
1	9.0	2621.3	2651.7	1488.0	
2	10.5	2639.0	2657.2	911.0	807 g/m² (máximo)
3	12.0	2647.8	2657.1	606.0	
4	14.0	2654.3	2658.2	352.0	

5	15.5	2688	2649.1	116.0
---	------	------	--------	-------

En los siguientes datos se observa que ya los valores se empiezan a superar el límite de pérdida por abrasión especificado en la norma ISSA y se observa en la Fig.15.

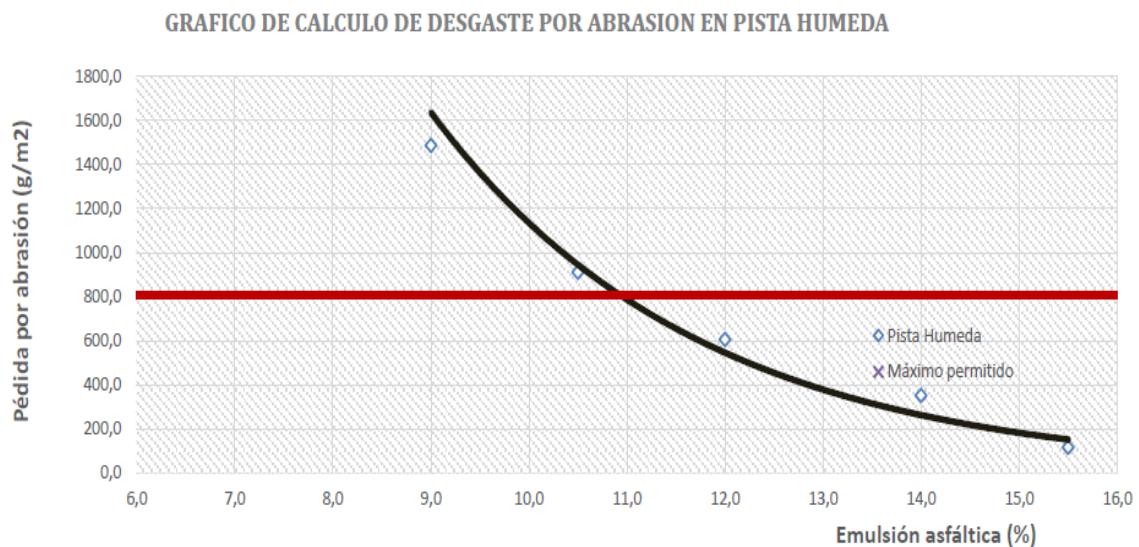


Fig. 15. Resultados del ensayo WTAT de la mezcla con adición de 10% de CR.

Combinación asfáltica con la adición de 12% de CR en relación a los agregados.

Tabla 21.

Resultados del ensayo de rueda cargada LWT de mezcla con 12% CR.

Datos del ensayo						
Mezcla N°	Cont. de agua (%)	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso arena + mezcla + plato	Exc. asfalto (g/m²)	Especificación
1		9.0	422.1	423.0	130.0	
2		10.5	436.5	438.1	214.8	
3	10.0	12.0	460.1	462.7	415.5	<538g/m²
4		14.0	466.0	469.0	582.7	
5		15.5	455.8	459.5	716.2	

Dado que se incrementa el porcentaje de caucho, aumenta la exudación de asfalto y ello se ve reflejado en la Fig.16.

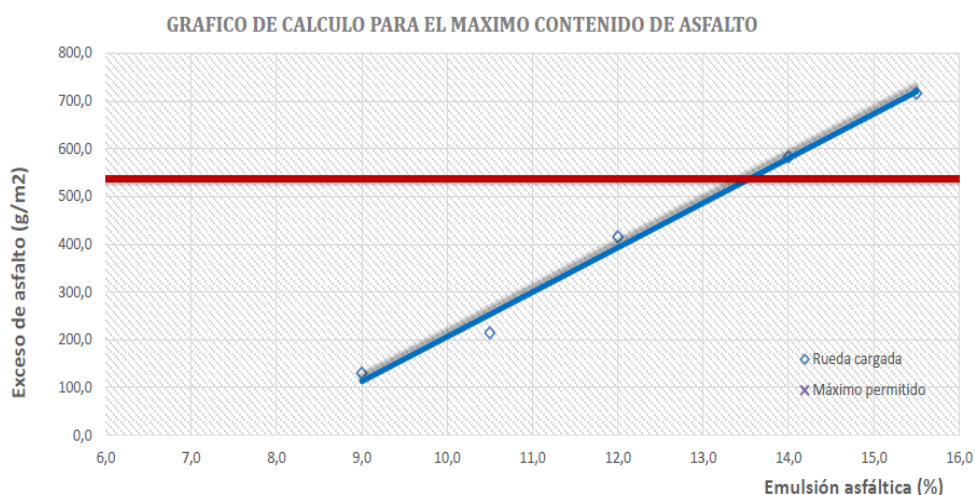


Fig. 16. Resultados de ensayo LWT con mezcla con adición de 12% de CR

Tabla 22.

Resultados del ensayo de abrasión en húmedo WTAT de mezcla con 12% CR.

Datos del ensayo					
Mezcla N°	Contenido emulsión (%)	Peso mezcla + plato	Peso mezcla + plato (g)	Perdida por abrasión (g/m ²)	Especificación
1	9.0	2624.1	2654.5	1718.4	807 g/m² (máximo)
2	10.5	2643.8	2662.0	956.0	
3	12.0	2637.1	2646.4	688.0	
4	14.0	2618.0	2621.9	489.0	
5	15.5	2622.7	2623.8	123.0	

En los siguientes datos se observa que ya los valores se empiezan a superar el límite de pérdida por abrasión especificado en la norma ISSA y se observa en la Fig.17.

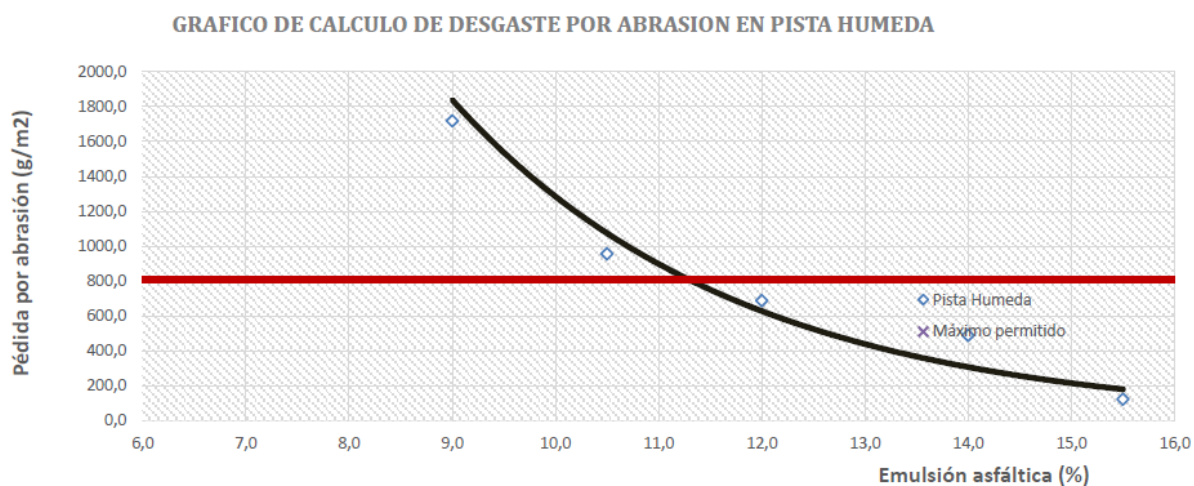


Fig. 17. Resultados del ensayo WTAT de la mezcla con adición de 12% de CR.

Interpretación de resultados:

Ensayo WTAT.

4 En la Figura 18 se observa que las mezclas con adición de CR al 5% tuvieron un mejor comportamiento frente a la abrasión en comparación a los otros porcentajes añadidos, y existe una ligera variación con la mezcla de control MP. En ese sentido, en las mezclas mencionadas, para la cantidad de emulsión asfáltica MB9, MB10.5, MB12, MB14 y MB15.5 con porcentajes de emulsión 9%, 10.5%, 12%, 14% y 15.5% respectivamente, teniendo en consideración la mezcla con adición al 5% de CR la cantidad de pérdida asfalto fue mayor en 12.5%, 5.36%, 8.61%, 6.43% y 12.20% en comparación de la mezcla de control MP. Tomando este porcentaje como el que mejor se comporta en comparación con los otros porcentajes, pero existiendo una ligera disminución de rendimiento en comparación a MP. Por lo tanto, es recomendable que, para aumentar la resistencia a la abrasión, se debe tener en cuenta el mínimo porcentaje de CR en la mezcla.

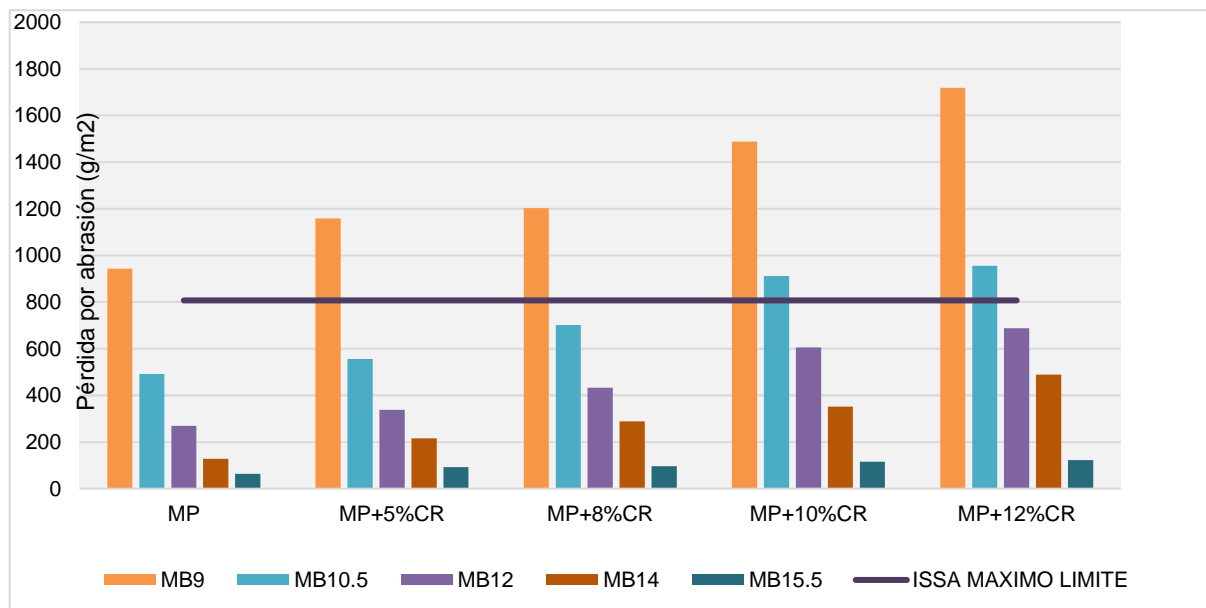


Fig. 18. Procesamiento de resultados ensayo WTAT

Ensayo LWT.

En esta sección, la prueba de carga de rueda se realizó en el asfalto obtenido del plan de mezcla para examinar el desempeño de la mezcla frente a la carga del tráfico, y los resultados para las mezclas de micro pavimentos. Como se mencionó anteriormente, esta

prueba se utiliza para evitar el sangrado y para determinar el contenido máximo de emulsión bituminosa utilizando el probador de rueda cargada. Los resultados se presentan para combinaciones asfálticas en la Fig. 19, donde se evalúa la comparación de MP con las adiciones de CR.

Los resultados obtenidos muestran valores aceptables para las muestras con adición 5% y 8% de CR, para estos porcentajes todas las alternativas de muestras de contenido de emulsión están dentro del rango permitido por las especificaciones ISSA A143 [48]. De acuerdo con la Fig. 19, el uso CR como adición a la combinación asfáltica disminuye la adherencia de arena de las mezclas MB9 y MB10.5. Sin embargo, la resistencia al sangrado más alta y baja se obtuvo con un contenido de emulsión residual de 9% y 15.5%, respectivamente. Por otro lado, como se muestra en la Figura 9, la resistencia al sangrado disminuyó proporcionalmente al incremento de adición de CR. Según los datos, la adherencia mínima de arena en las mezclas modificadas, fue del 12%, 10%, 14%, 20% y 17% para la muestra MB9, comparando las mezclas MP y MP+5%CR respectivamente. En contraste, la mayor resistencia al sangrado correspondió a las muestras MP+CR5% en todos los contenidos de emulsión asfáltica residual.

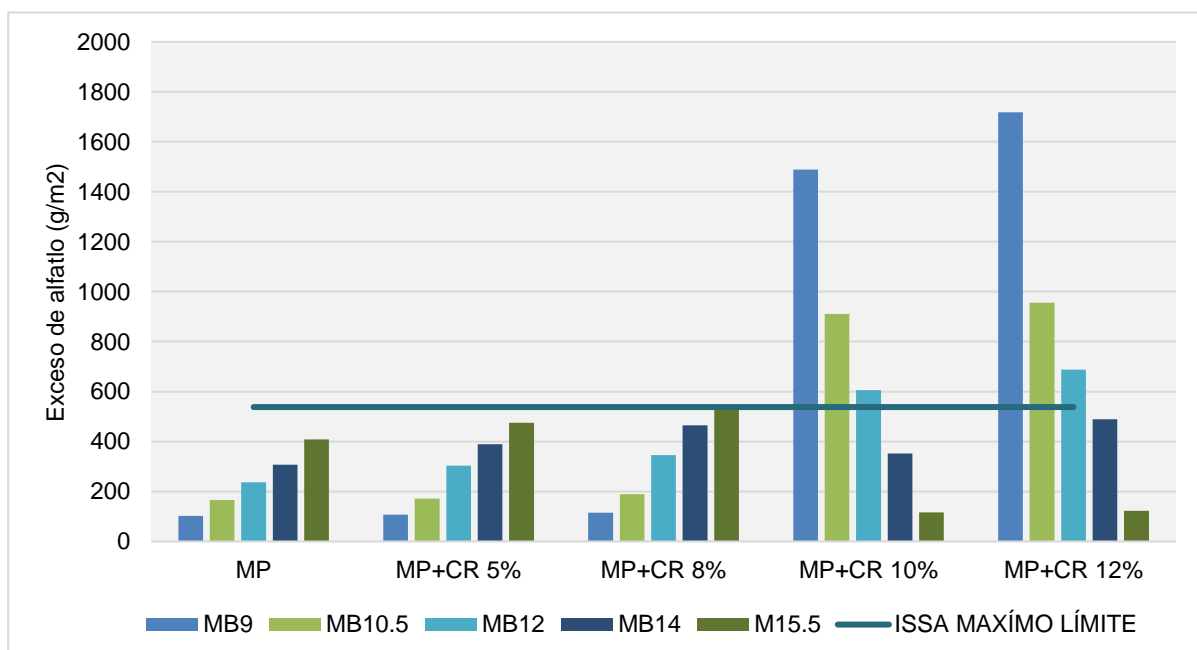


Fig. 19. Procesamiento de resultados ensayo LWT.

Siguiendo el tercer objetivo combinación asfáltica reemplazando el 5% de SS en relación a los agregados.

Tabla 23.

Ensayo de rueda cargada LWT de mezcla sustituyendo 5% SS por los agregados

Datos del ensayo						
Mezcla N°	Cont. de agua (%)	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso arena + mezcla + plato	Exc. asfalto (g/m ²)	Especificación
1		9.0	408.5	409.4	92.0	
2		10.5	412.0	413.6	134.0	
3	10.0	12.0	420.5	423.1	268.2	<538g/m ²
4		14.0	426.0	429.0	374.8	
5		15.5	436.6	440.3	462.2	

La EA muestra valores mucho más aceptables en relación al CR¹⁰ en el ensayo de rueda cargada se observa que todos los valores se encuentran dentro de los rangos permitidos en las especificaciones de la norma ISSA A-143 y se puede ver en la Fig. 20

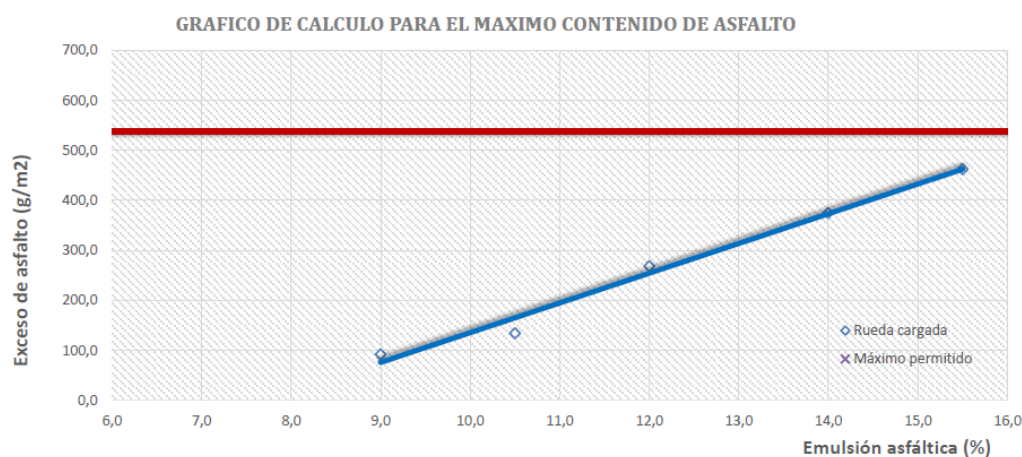


Fig. 20. Resultados de ensayo LWT con mezcla sustituyendo el 5% de SS por los agregados.

Tabla 24.

Ensayo de abrasión en húmedo WTAT de mezcla reemplazando 5% de SS por agregados.

Datos del ensayo					
Mezcla N°	Contenido emulsión (%)	Peso mezcla + plato	Peso mezcla + plato (g)	Perdida por abrasión (g/m ²)	Especificación

1	9.0	2603.2	2633.6	1203.0	
2	10.5	2611.0	2629.2	574.8	
3	12.0	2014.0	2023.3	401.0	807 g/m² (máximo)
4	14.0	2596.3	2600.2	223.6	
5	15.5	2631.0	2632.1	98.0	

Los valores de pérdida por abrasión en un contenido de emulsión de 9.0% excede el límite establecido por la norma ISSA, tal cual se ve en la Fig. 21.

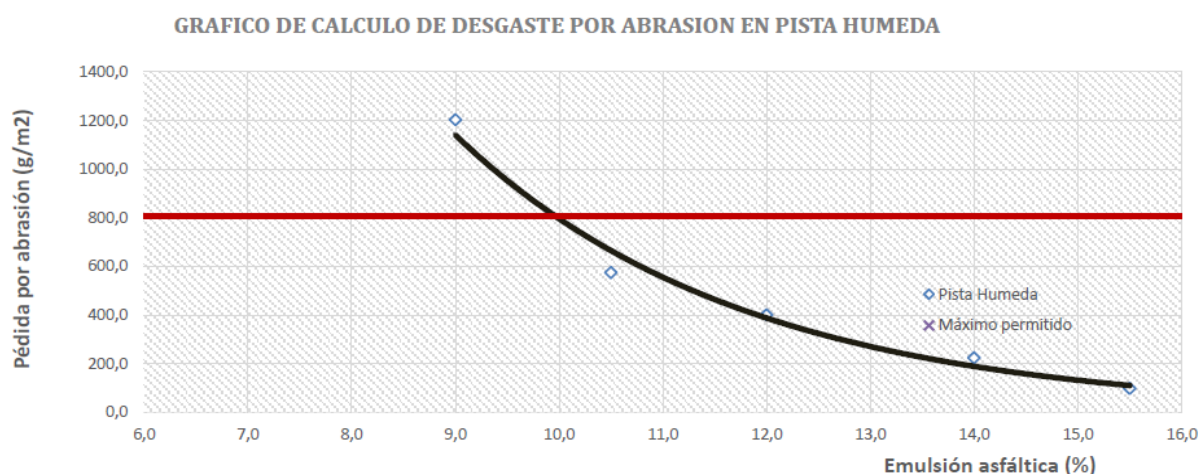


Fig. 21. Resultados del ensayo WTAT de la mezcla sustituyendo 5%SS por agregados.

Tabla 25.

Ensayo de rueda cargada LWT de mezcla sustituyendo 10% SS por los agregados.

Datos del ensayo						
Mezcla N°	Cont. de agua (%)	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso arena + mezcla + plato	Exc. asfalto (g/m ²)	Especificación
1		9.0	418.5	419.4	111.0	
2		10.5	426.6	428.2	177.0	
3	10.0	12.0	448.2	450.8	331.0	<538g/m²
4		14.0	462.0	465.0	471.0	
5		15.5	463.0	466.7	530.0	

Los resultados muestran valores aceptables, todo ello se muestra en la Fig. 22.

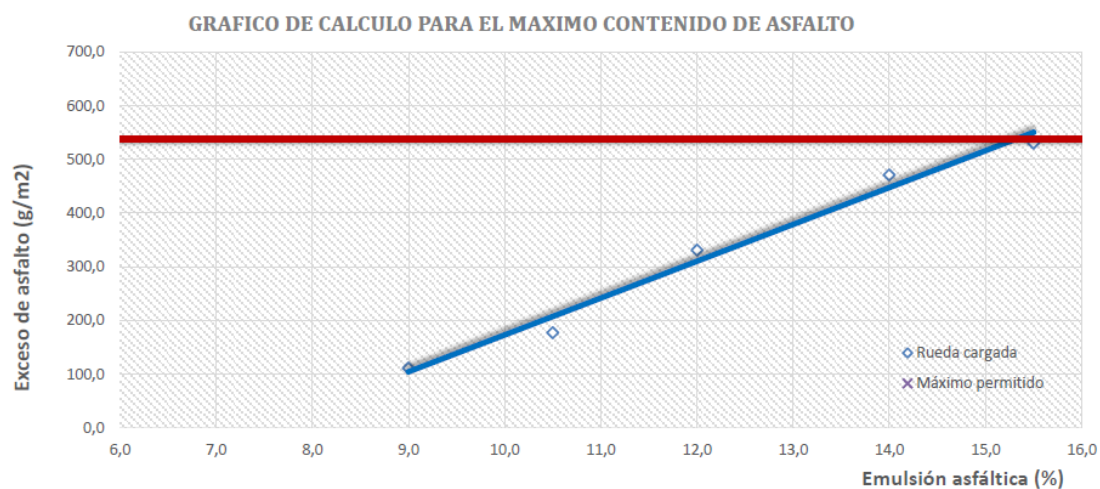


Fig. 22. Resultados de LWT con mezcla sustituyendo el 10% de SS por los agregados.

Tabla 26.

5 Ensayo de abrasión en húmedo WTAT de mezcla reemplazando 10% de SS por agregados.

Datos del ensayo					
Mezcla N°	Contenido emulsión (%)	Peso mezcla + plato	Peso mezcla + plato (g)	Perdida por abrasión (g/m²)	Especificación
1	9.0	2615.2	2645.6	1236.0	807 g/m² (máximo)
2	10.5	2622.0	2640.2	726.8	
3	12.0	2634.0	2643.3	442.6	
4	14.0	2605.0	2608.9	303.0	
5	15.5	2642.0	2643.1	101.0	

Los resultados muestran valores aceptables, todo ello se muestra en la Fig. 23.

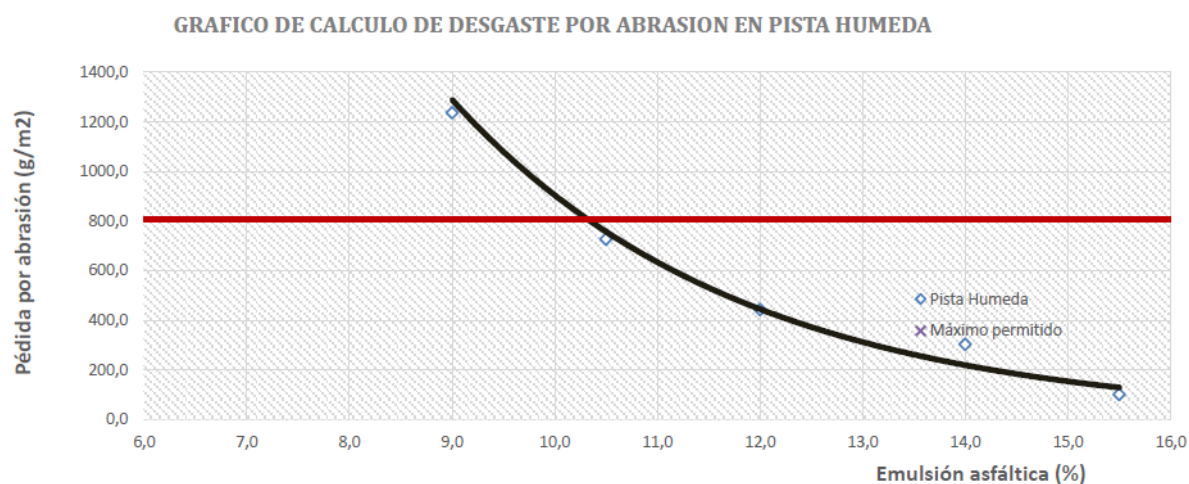


Fig. 23. Resultados del ensayo WTAT de la mezcla sustituyendo 10%SS por agregados.

Tabla 27.

Ensayo de rueda cargada LWT de mezcla sustituyendo 15% SS por los agregados.

Datos del ensayo						
Mezcla N°	Cont. de agua (%)	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso arena + mezcla + plato	Exc. asfalto (g/m ²)	Especificación
1		9.0	422.2	423.1	121.0	
2		10.5	430.5	432.1	214.0	
3	10.0	12.0	441.0	443.6	435.0	<538g/m²
4		14.0	458.2	461.2	615.8	
5		15.5	462.0	465.7	723.3	

Mientras el contenido de escoria aumenta, se observa que empieza a tener una exudación mayor y superan en algunos casos el límite de la norma ISSA.

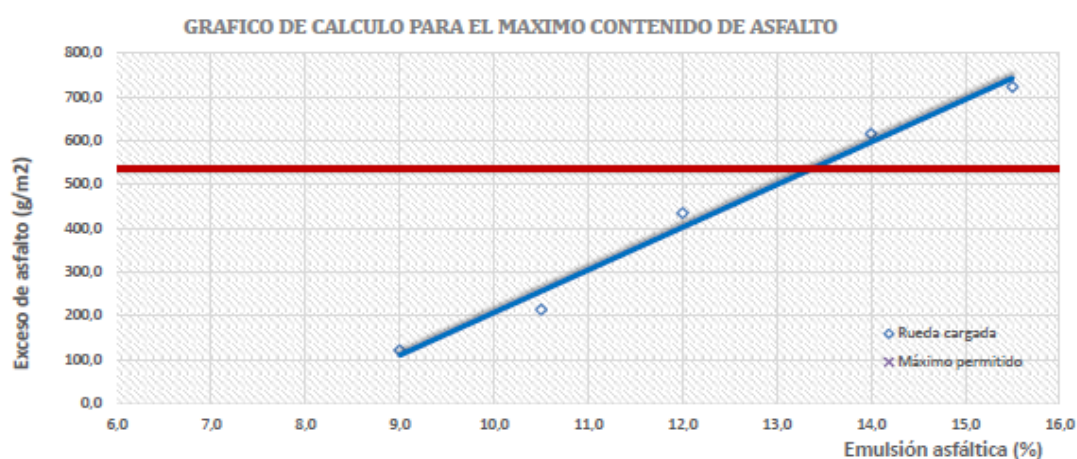


Fig. 24. Resultados de LWT con mezcla sustituyendo el 15% de SS por los agregados.

Tabla 28.

Ensayo de abrasión en húmedo WTAT de mezcla reemplazando 15% de SS por agregados.

Datos del ensayo					
Mezcla n°	Contenido emulsión (%)	Peso mezcla + plato	Peso mezcla + plato (g)	Perdida por abrasión (g/m ²)	Especificación
1	9.0	2628.1	2658.5	1537.2	
2	10.5	2643.0	2661.2	935.2	
3	12.0	2651.8	2661.1	644.0	807 g/m² (máximo)
4	14.0	2660.7	2664.6	401.0	
5	15.5	2637.1	2638.2	132.0	

Mientras el contenido de escoria aumenta, se observa que empieza a tener una pérdida por abrasión mayor y superan en algunos casos el límite de la norma ISSA.

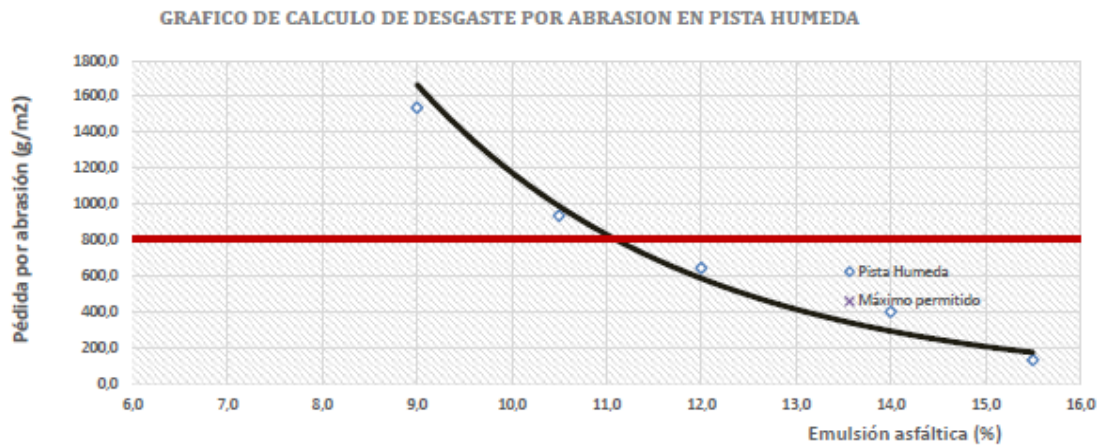


Fig. 25. Resultados del ensayo WTAT de la mezcla sustituyendo 15%SS por agregados.

Tabla 29.

Ensayo de rueda cargada LWT de mezcla sustituyendo 20% SS por los agregados.

Datos del ensayo						
Mezcla N°	Cont. de agua (%)	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso arena + mezcla + plato	Exc. asfalto (g/m ²)	Especificación
1		9.0	425.0	425.9	142.0	
2		10.5	441.5	443.1	226.8	
3	10.0	12.0	462.8	465.4	478.8	<538g/m ²
4		14.0	472.3	475.3	618.5	
5		15.5	460.8	464.5	741.0	

Mientras el contenido de SS aumenta, se ve mayor exudación de emulsión asfáltica.

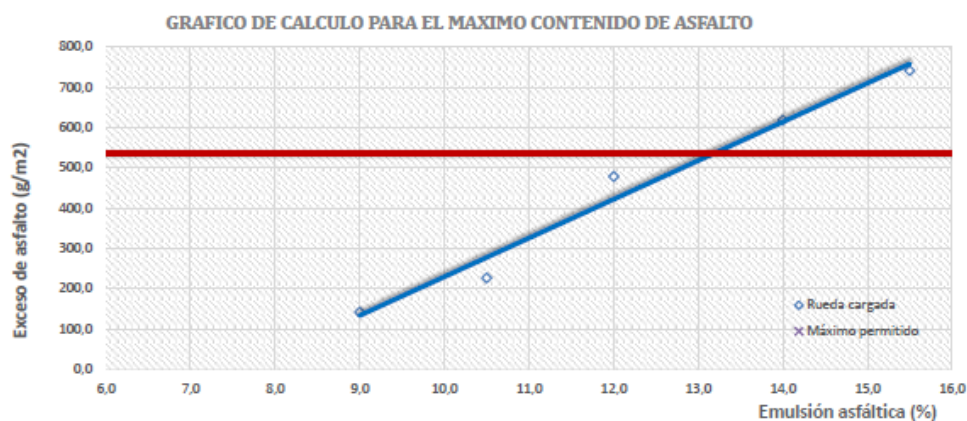


Fig. 26. Ensayo LWT con mezcla sustituyendo el 20% de SS por los agregados.

Tabla 30.

5 **Ensayo de abrasión en húmedo WTAT de mezcla reemplazando 20% de SS por agregados.**

Datos del ensayo					
Mezcla N°	Contenido emulsión (%)	Peso mezcla + plato	Peso mezcla + plato (g)	Perdida por abrasión (g/m ²)	Especificación
1	9.0	2618.4	2648.8	1905.6	807 g/m² (máximo)
2	10.5	2638.7	2656.9	1034.7	
3	12.0	2644.3	2653.6	725.0	
4	14.0	2638.9	2642.8	522.0	
5	15.5	2641.0	2642.1	160.3	

Mientras el contenido de escoria aumenta, se observa que empieza a tener una pérdida por abrasión mayor y superan en algunos casos el límite de la norma ISSA y esto se ve en la Fig.27.

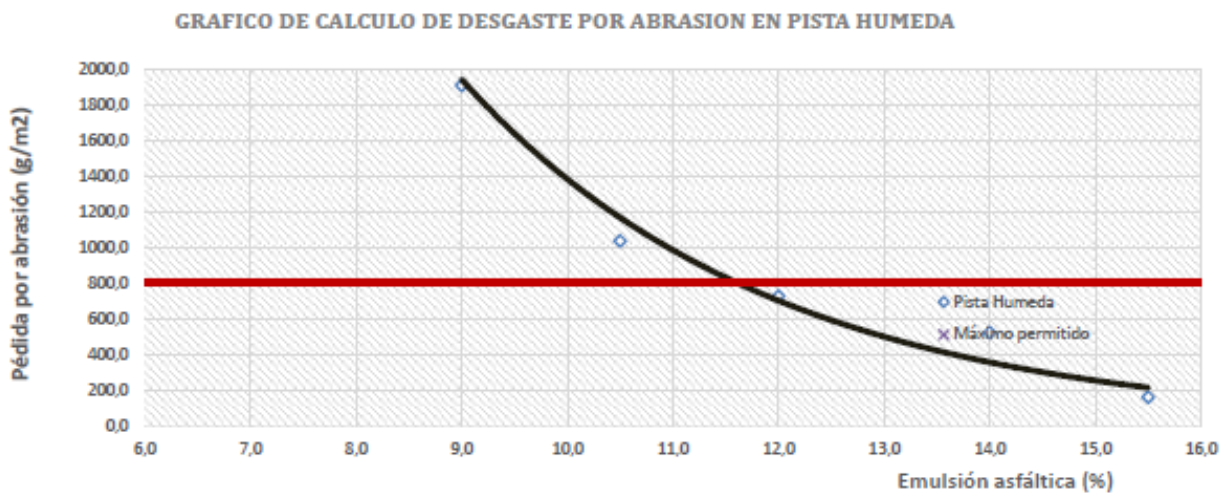


Fig. 27. Resultados del ensayo WTAT de la mezcla sustituyendo 20%SS por agregados.

Interpretación de resultados:

Ensayo WTAT.

A diferencia del CR, el comportamiento de SS en la combinación asfáltica trae consigo resultados similares, pero este material tiene un mejor comportamiento en la resistencia a la abrasión en comparación del caucho, en la Figura 28 se tienen los resultados del ensayo WTAT en comparación de la mezcla de control con los porcentajes de sustitución de SS por el agregado. Lo cual refleja los resultados de los especímenes que contienen SS, en contenidos de 5% obtienen una mínima pérdida de peso teniendo un mejor desempeño contra la pérdida por abrasión para casi todos los porcentajes de emulsión teniendo en las muestras MB10.5, MB12 con una variación del 2% y 3% respectivamente y MB14 y MB15.5 de 4.38% y 6.54% en comparación a la combinación asfáltica de control. Por tanto, no existe mucha variación sustituyendo el agregado por escoria hasta en un 10%, dado que, el comportamiento de la mezcla frente a la abrasión, se altera en porcentajes de 4.03%, 8.05%, 7.35% 4.33% y 6.30% en comparación a la combinación asfáltica de control para las muestras de MB9, MB10.5, MB12, MB14 y MB15.5 respectivamente.

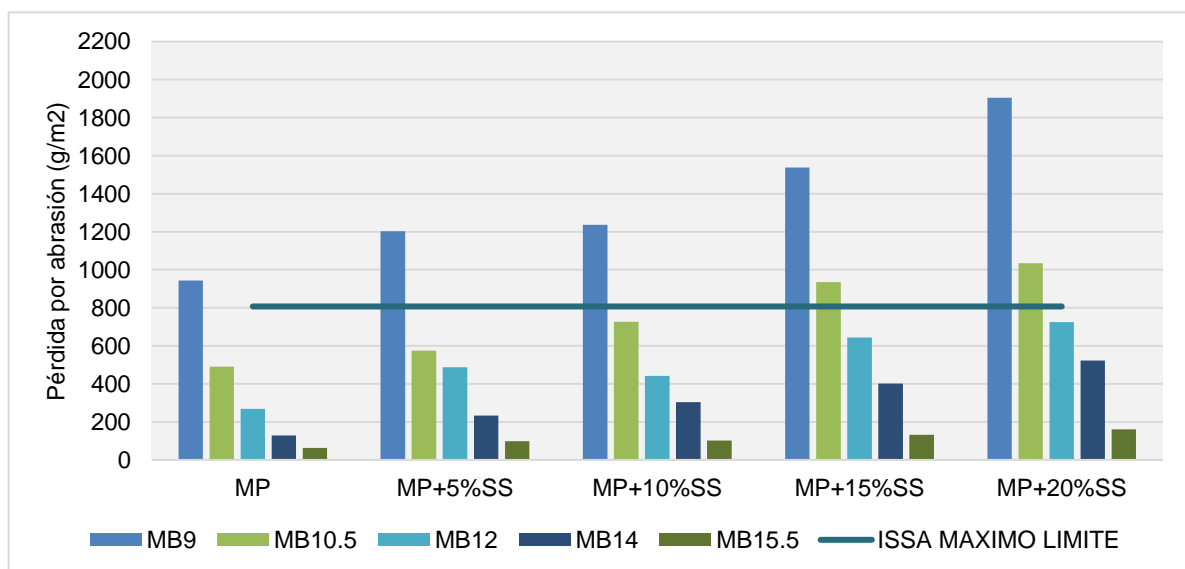


Fig. 28. Procesamiento de resultados ensayo WTAT.

Ensayo LWT.

En el mismo sentido, tenemos la mezcla con la sustitución de SS por agregados muestra un caso similar a lo ocurrido con el CR, donde ocurre las mezclas con porcentajes

de 5% y 10% tienen valores aceptables dentro de la norma ISSA de exceso asfalto residual en todos los porcentajes de emulsión asfáltica, los datos que se ven en la Figura 29. De acuerdo con los resultados obtenidos de este ensayo, ha resultado que la mezcla de control tiene una resistencia más débil en comparación con las mezclas que contienen escoria de acero. Además de ello, la mezcla que contiene 15% de escoria tiene desplazamiento lateral y vertical en comparación con una mezcla que contiene 10% de escoria, pero ambas han cumplido con los requisitos de la guía. Cuanto más aumenta la escoria, más aumenta la cantidad de emulsión, y esto condujo al aumento de la deformación. Teniendo en cuenta lo mencionado, el porcentaje que presenta un mayor desempeño en la mezcla es el 10% de escoria de acero en sustitución de los agregados, debido que cumple con los requisitos de la guía y ofrece una menor deformación lateral y vertical en comparación a otros porcentajes, sin embargo, sigue existiendo alteración con respecto al contenido exceso de asfalto en comparación a la MP que se muestra en Figura 29. De modo que todos los especímenes a 9 y 15.5 porcentajes de emulsión tengan respectivamente las cantidades mínima y máxima de sangrado para dicho porcentaje de SS.

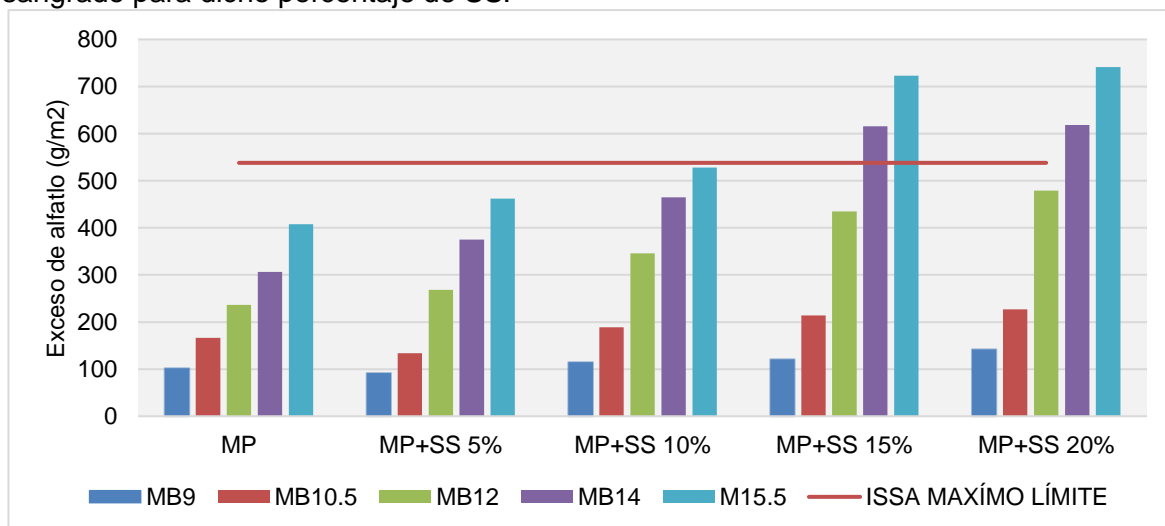


Fig. 29. Procesamiento de resultados ensayo LWT.

Teniendo en cuenta lo reflejado en los resultados de los ensayos WTAT Y LWT, la mezcla de control MP tiene un comportamiento aceptable conforme a lo requisitos de las normas ISSA, pero al adicionarle caucho pierde considerable resistencia a la abrasión directamente a más porcentaje de adición de caucho en función al peso del agregado, el

porcentaje que es considerable óptimo para este tipo de mezcla es el 5% debido a que aún se tiene valores aceptados que cumplen los requisitos de la guía en abrasión y adherencia en los ensayos mencionados, pero con las observaciones mencionadas en cada ensayo; en el caso ¹ de la escoria de acero, debido a la alta resistencia a la abrasión que ofrece se tiene un mejor desempeño en cuanto aumenta la su porcentaje de sustitución que varía entre 5% a 10%, luego de pasar dicho porcentaje existe una deficiencia en la resistencia al sangrado, por lo que se tiene mayor exceso de asfalto, recomendando de esta manera como el porcentaje óptimo con ¹³ que mejora las propiedades mecánicas de la mezcla en 10%.

Resultados del diseño de mezclas de micro pavimento.

Posterior a la evaluación del desempeño de CR y SS en la mezcla de micro pavimento, se procede a realizar el diseño definitivo de micro pavimento con los ensayos requeridos de la norma ISSA [48].

Siguiendo el cuarto objetivo diseño de micro pavimento de mezcla de control

MP

Contenido Teórico de Asfalto

³ A partir del contenido teórico de emulsión y considerando la manejabilidad de la mezcla con el agregado, se confeccionaron moldes para someterlos a las pruebas de diseño de micro pavimento. ⁷⁰ Los resultados indican que, al aumentar el porcentaje de emulsión asfáltica, se observaron menos caídas de peso en las muestras, lo que resultó en un recubrimiento más grueso y, por ende, una cohesión adecuada entre los materiales y el betún.

Además, se destacó que los agregados y el cemento asfáltico modificado con polímeros en todas las muestras exhibieron una cohesión más fuerte y adecuada con la emulsión asfáltica polimérica CQS, lo que se tradujo en menores pérdidas de peso debido a la abrasión. Estos hallazgos se detallan a continuación, que refleja los resultados del ensayo ⁵ de abrasión en húmedo WTAT y la prueba de rueda cargada. Es relevante señalar que, en ambos ensayos, realizados a 60 minutos, las especificaciones ISSA establecen un límite de pérdida por abrasión y exceso de asfalto, fijando un límite de 538 g/m². Las muestras

producidas en este estudio cumplen con los requisitos de la guía, lo que permite avanzar a la siguiente fase de diseño.

Tabla 31.

Resultados de ensayos WTAT Y LWT en MP de micro pavimento.

³ % Cemento Asfáltico Mod. con Polímero	Emulsión (%)	WTAT (g/m ²)	LWT (g/m ²)
6.1	9.8	378.4	234.8
7.4	11.8	265.8	318.2
8.6	13.8	174.9	442.9

¹ Cálculo del contenido óptimo de asfalto residual

Una vez realizado y verificado el cumplimiento de los ensayos WTAT y LWT, verificando que hayan logrado cumplir satisfactoriamente estos ensayos según la guía, se tiene que calcular ² el contenido óptimo de asfalto residual para el diseño, en la presente investigación se opta por graficar las curvas y en la intersección de la curva en ambos ensayos calcular el % de cemento asfáltico mod. Con polímero y convertir en el porcentaje óptimo ⁴ de asfalto residual. En la Figura 30, se muestra la intersección de las curvas en un % de cemento asfáltico de 7.15, en las características de la emulsión se tiene un contenido de residuo asfáltico de 62.5%. se utiliza para calcular ²¹ el contenido óptimo de emulsión asfáltica en la mezcla.

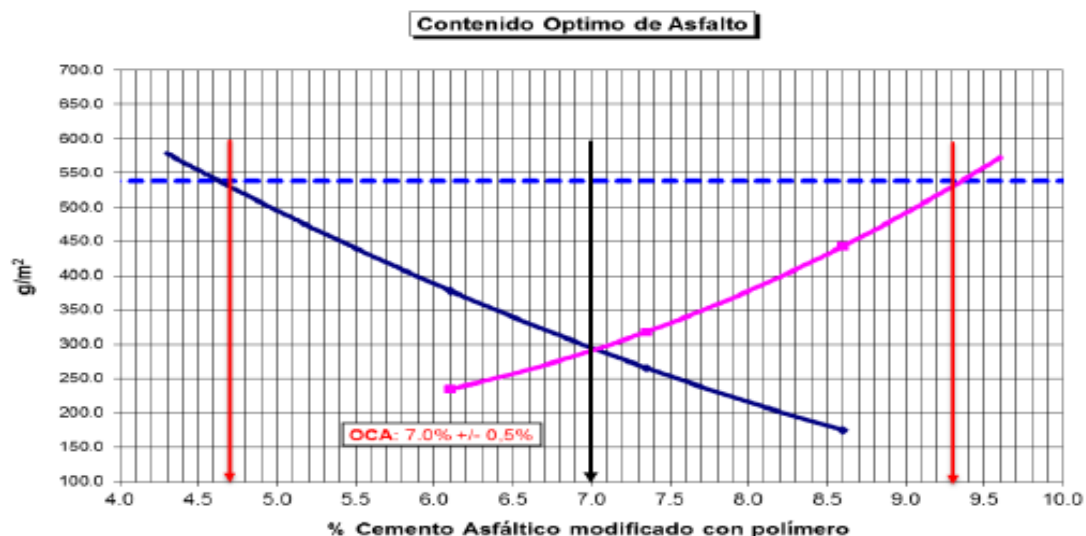


Fig. 30. Intersección de curvas - Contenido óptimo de emulsión asfáltica.

De esta manera obteniendo en porcentajes el contenido de emulsión asfáltica, dividiendo el % de cemento asfáltico óptimo entre en % de contenido de residuo asfáltico y multiplicando por 100. Obteniendo un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 11.4%.

Mezcla con contenido óptimo de emulsión.

El tiempo de mezcla y demulsificación son indicadores importantes para la construcción de pavimentos, que indican el tiempo de operación antes de la demulsificación. En este estudio, el tiempo de mezcla y demulsificación de las mezclas de micro pavimentos se midió mediante los ensayos la guía los cuales se muestran en la Tabla 26. Una vez obtenido la dosificación de diseño se procede a realizar los ensayos de calidad de mezcla según la guía y expresados en la Tabla 26, donde todos los ensayos logran encontrarse dentro de los rangos permitidos en las especificaciones.

Tabla 32.

74 *Resultados de los ensayos realizados con el contenido óptimo de emulsión asfáltica.*

Ensayos	Métodos	Especificación ISS	Resultados
3 Tiempo de mezclado	ISSA TB 113	Mínimo 120 s	150 s
2 Consistencia	ISSA TB 106	2-3 cm	3 cm
Cohesión húmeda	ISSA TB 139	2 Mínimo 30 min., 12 kg- 3 cm	17 kg-cm
		Mínimo 60 min., 20 kg- cm	20 kg-cm
Recubrimiento	ISSA TB 114	Mínimo 90%	99%
Desplazamiento lateral	ISSA TB 147	5% Máximo	2.3%
WTAT a 1 hora	2 ISSA TB 100	Máximo 538 g/m ²	315.3 g/m ²
WTAT a 6 días	ISSA TB 100	Máximo 807 g/m ²	435.8 g/m ² 3
LWT	ISSA TB 109	Máximo 538 g/m ²	293.1 g/m ²

Nota: Los resultados de los ensayos de performance de diseño de micro pavimentos, cumplen todos los requerimientos de la norma ISSA A-143.

La prueba de cohesión húmeda se realiza para determinar la cohesión, la resistencia al tráfico y el tiempo de curado de acuerdo con la directriz ISSA TB 139. Con base en la prueba, se determinó la cantidad de carga mineral necesaria en la mezcla para producir

valores de torque de cohesión aceptables a los 30 min (evaluación del proceso de ruptura de la emulsión bituminosa), 60 min y después de 24 horas de curado. Los valores de cohesión de 30 minutos y 60 minutos pueden considerarse como la evaluación del proceso de rotura de la emulsión bituminosa y también como la evaluación del tiempo de apertura del tráfico,

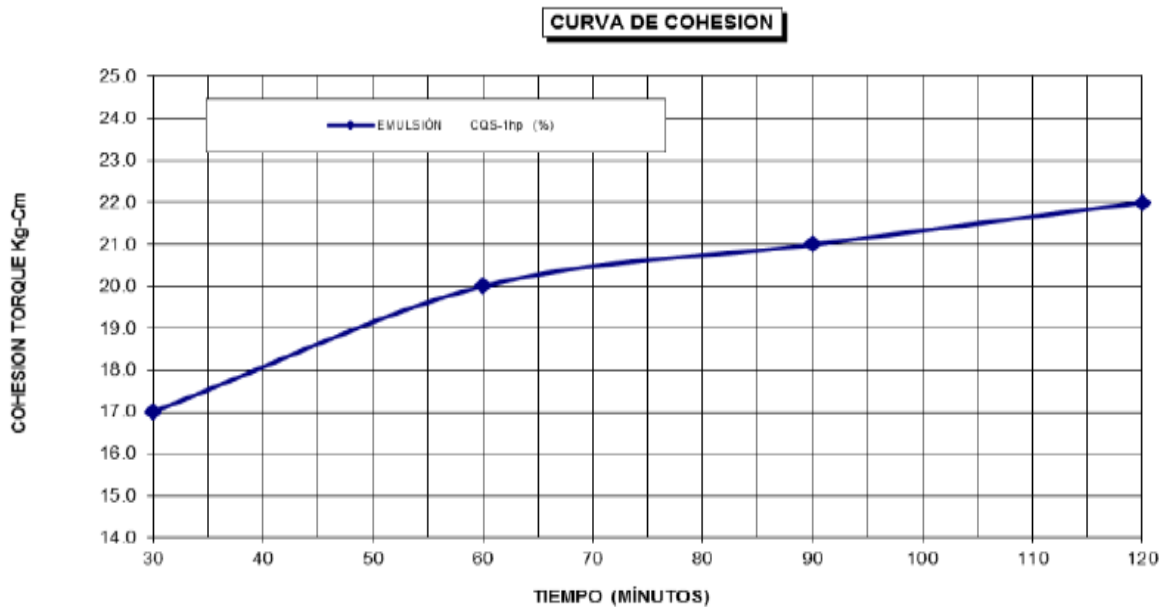


Fig. 31. Curva de cohesión

Una vez obtenido la dosificación de materiales, se procede a realizar la etapa final de diseño de micro pavimento, el cual consiste en un ensayo definitivo.

Dosificación de materiales:

Diseño de Micro pavimento TIPO III.

Cantidad óptima de emulsión asfáltica CQS-1hp: 11.4%

(Rango de tasa de aplicación: 10.6% a 12.2 %)

Cantidad de filler (Cemento Portland tipo I): 0.3%

Cantidad de agua: 8.0%

Posteriormente a los ensayos de performance de diseño, se requiere a hacer el ensayo definitivo de micro pavimento, el Schulze Breuer and Ruck. El procedimiento ofrece un sistema de medición para la pérdida por abrasión, así como para evaluar la integridad y adherencia de partículas finas específicas presentes en agregados y residuos de asfalto emulsionado. Los resultados de la prueba pueden estar relacionados con el rendimiento real

en campo de las mezclas utilizadas en pavimentación.

Se combina una pequeña porción del agregado con el asfalto emulsionado. La combinación resultante se coloca en una cápsula y se somete a evaluación en términos de abrasión, integridad y adhesión.

Tabla 33.*Resultados del ensayo Schulze*

Prueba	Peso seco	Peso húmedo	Peso después del ensayo de abrasión	Peso después del ensayo de adherencia 30 min. De ebullición	Peso sat. Seco después de ensayo de adherencia	Absorción %	Abrasión gramos	Adhesión %	Integridad %
1	41.3	42.6	42.3	42.1	41.0	3.1	0.3	96.2	98.8
2	41.3	42.4	42.0	41.8	40.8	2.7	0.3	96.2	98.6
3	41.1	42.3	42.0	41.7	40.6	2.9	0.3	96.0	98.6
4	41.2	42.4	42.1	41.9	40.9	2.9	0.3	96.5	98.8
5	41.2	42.3	42.0	41.7	40.7	2.7	0.3	96.2	98.6
6	41.3	42.4	42.0	41.8	40.7	2.7	0.3	96.0	98.6
7	41.0	42.2	41.8	41.5	40.4	2.9	0.3	95.7	98.3
8	41.2	42.4	42.1	41.8	40.8	2.9	0.3	96.2	98.6
Promedio	41.20	42.38	42.04	41.79	40.74	2.9	0.3	96.1	98.6

Tabla 34.

5 **Resultados del ensayo Breuer and Ruck**

Resultados	Abrasión gramos	Adhesión %	Integridad %
Valores obtenidos	0.34	96.1	98.6
Puntaje	4	4	4
Grado	A	A	A

Tabla 35.

3 **Criterio de clasificación.**

Grado de ensayo	Puntaje ensayo	Pérdida de abrasión (gramos)	Adhesión 30 min. Ebullición % cubierto	Integridad 30 min. Ebullición % retenido
A	4	0.0-0.7	90-100	90-100
B	3	0.71 – 1.0	75-89	75-89
C	2	1.01- 1.3	50-74	50-74
D	1	1.31-2.0	10-49	10-49
0	0	2.01+	0	0

Tabla 36.

Resultado total.

Puntaje total	Especificación
12	Mínimo 11 (AAA, BAAA)

La mezcla patrón cumple con el ensayo definitivo de diseño de miro-pavimento.

Con respecto al quinto objetivo diseño de mezcla con el contenido de 10% de SS en sustitución del agregado.

9 **Contenido Teórico de Asfalto**

Asfalto teórico en base a la granulometría: 8.6 %

Emulsión asfáltica teórica calculada: 13.8 %.

4 **Los resultados obtenidos en los ensayos WTAT y LWT reflejados en la Tabla 31,**

muestran en mejores condiciones que la muestra de control debido a que se obtiene menor pérdida de por abrasión en el ensayo WTAT y mejor comportamiento en adherencia en el

ensayo LWT, por lo que puede deducir que la inclusión de ¹escoria de acero en dicho porcentaje mejora las propiedades de la mezcla, incluso requiriendo un menor contenido de emulsión asfáltica en comparación de la mezcla patrón, sin embargo la diferencia entre ambas mezclas sigue siendo mínima. No obstante, es importante destacar que existe una ligera mejora en el ¹²comportamiento de la mezcla.

Tabla 37.

Resultados de ensayos de WTAT Y LWT en mezcla con 10% escoria de acero de micro pavimento.

³ % Cemento Asfáltico Mod. con Polímero	Emulsión (%)	WTAT (g/m ²)	LWT (g/m ²)
6.1	9.8	378.4	234.8
7.4	11.8	265.8	318.2
8.6	13.8	174.9	442.9

²**Cálculo del contenido óptimo de asfalto residual**

La intersección de curvas en esta etapa fue en un contenido de cemento asfáltico con polímeros de 7% el cual se observa en la Figura 32, reduciendo en un ¹⁰5% el contenido óptimo de emulsión en comparación de la mezcla patrón calculando un % de contenido de emulsión asfáltica de 11.2%.

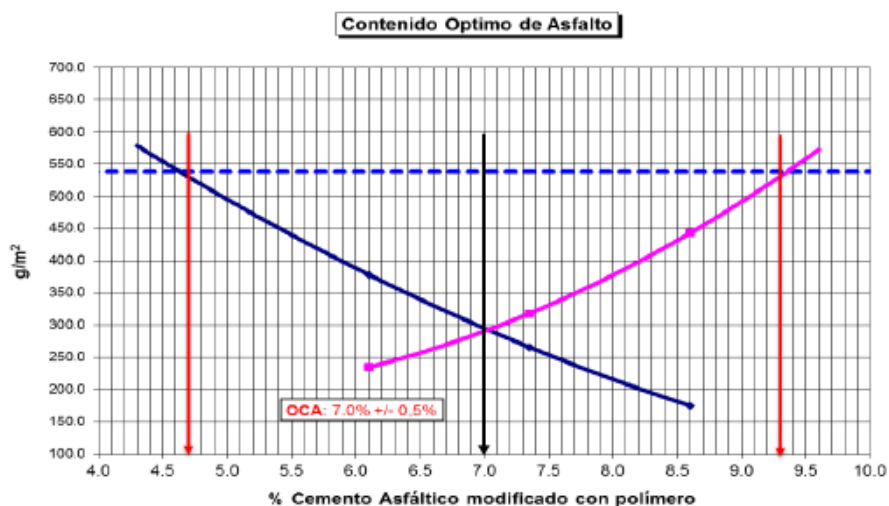


Fig. 32. Intersección de curvas - ¹Contenido óptimo de emulsión asfáltica.

De igual manera se tiene la dosificación de diseño, se realiza los ensayos de calidad

de la mezcla. En la Tabla 41 se muestran los resultados de los ensayos, en donde de igual manera en comparación a la mezcla de control logran pasar satisfactoriamente los requerimientos de la guía ISSA.

Tabla 38.

Resultados de ensayos realizados con el contenido óptimo de emulsión asfáltica y escoria de acero.

Ensayos	Métodos	Especificación ISSA	Resultados
Tiempo de mezclado	ISSA TB 113	Mínimo 120 s	150 s
Consistencia	ISSA TB 106	2-3 cm	3 cm
Cohesión húmeda	ISSA TB 139	Mínimo 30 min., 12 kg-cm	18 kg-cm
		Mínimo 60 min., 20 kg-cm	21 kg-cm
Recubrimiento	ISSA TB 114	Mínimo 90%	99%
Desplazamiento lateral	ISSA TB 147	5% Máximo	2%
WTAT a 1 hora	ISSA TB 100	Máximo 538 g/m ²	293.8 g/m ²
WTAT a 6 días	ISSA TB 100	Máximo 807 g/m ²	387.6 g/m ²
LWT	ISSA TB 109	Máximo 538 g/m ²	282.3 g/m ²

Cumpliendo satisfactoriamente los requerimientos de la guía con el contenido óptimo de emulsión CQS-1hp, se obtiene la dosificación de la mezcla de micro pavimento logra cumplir con los requisitos de la norma ISSA A143 [48]. No existe considerable variación en comparación a la mezcla de control, sin embargo, es importante resaltar que existe un mejor desempeño en la mezcla que contiene escoria de acero, dado que logra aumentar la resistencia a la abrasión en un 11.03% comparación a la mezcla de control.

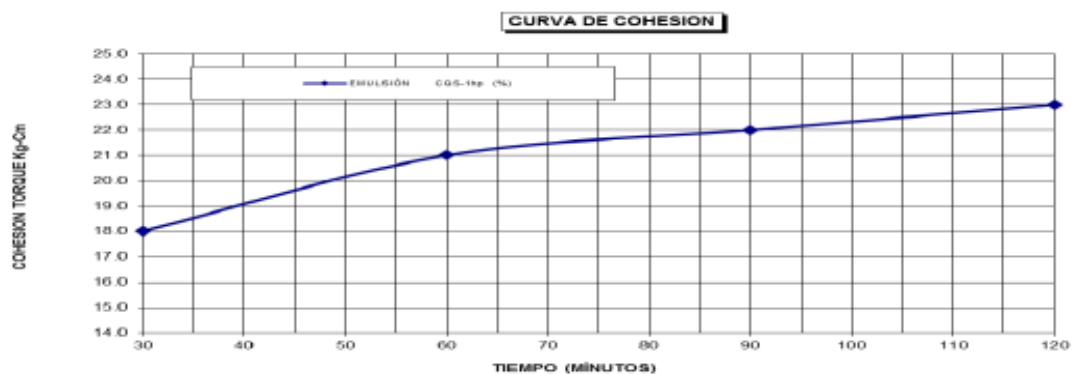


Fig. 33. Curva de cohesión

Dosificación de materiales:

Diseño de Micro pavimento ³ TIPO III.

Cantidad óptima de emulsión asfáltica CQS-1hp: 11.2%

(Rango de tasa de aplicación: 10.6% a 12.2 %)

Cantidad de filler (Cemento Portland tipo I): 0.3%

Cantidad de Escoria de acero: 10.0%

Cantidad de agua: 8.0%

Tabla 39.

Ensayo de Schulze Breuer and Ruck de la mezcla con 10% de escoria de acero.

Prueba	Peso seco	Peso húmedo	Peso después del ensayo de abrasión	Peso después del ensayo de adherencia 30 min. De ebullición	Peso sat. Seco después de ensayo de adherencia	Absorción %	Abrasión gramos	Adhesión %	Integridad %
1	41.2	42.5	42.2	42.0	41.1	3.2	0.3	96.7	98.8
2	41.2	42.3	42.1	41.8	40.9	2.7	0.2	96.7	98.8
3	41.0	42.4	42.1	41.8	40.7	3.4	0.3	96.0	98.6
4	41.3	42.3	42.2	42.0	40.8	2.4	0.1	96.5	99.3
5	41.1	42.2	42.1	41.9	40.6	2.7	0.1	96.2	99.3
6	41.2	42.5	42.1	41.7	40.8	3.2	0.4	96.0	98.1
7	41.1	42.3	41.9	41.6	40.5	2.9	0.4	95.7	98.3
8	41.1	42.2	42.2	41.7	40.7	2.7	0.0	96.4	98.8
Promedio	41.15	42.34	42.11	41.81	40.76	2.9	0.22	96.3	98.8

Tabla 40.*Resultados de ensayo.*

Resultados	Abrasión gramos	Adhesión %	Integridad %
Valores obtenidos	0.22	96.3	98.8
Puntaje	4	4	4
Grado	A	A	A

Tabla 41.*Resultado total*

Puntaje total	Especificación
12	Mínimo 11 (AAA, BAAA)

Siguiendo el quinto objetivo diseño de mezcla con el contenido de 10% de SS en sustitución del agregado y adicionando 5% de CR.

⁷¹ Los resultados reflejados en la Tabla 10, demuestran que las mezcla no logró cumplir con el máximo límite permitido según la norma ISSA, las pérdidas por abrasión son mayores a 538 g/cm². La presencia de caucho en la mezcla ocasionó una pérdida de resistencia a la abrasión es por ello que la mezcla no logró pasar de esta etapa y no tiene calificación en la mezcla para micro pavimento.

Tabla 42.*Diseño de mezcla.*

% Cemento AsfálticoMod. con Polímero	Emulsión (%)	WTAT (g/m ²)	LWT (ciclos)
6.2	9.9	2320	180
7.5	11.9	2100	250
8.7	13.8	1950	285

Nota: Los especímenes con diferentes contenidos de asfalto residual fueron sometidos al ensayo de Rueda Cargada y Abrasión Vía Húmeda, los resultados obtenidos demuestran que ambos ensayos no cumplen las exigencias de la especificación ISSA.

En la Fig. 31 se muestran los especímenes de las muestras con contenido de caucho y escoria de acero antes y después de haber realizado el ensayo. La presencia de caucho en la mezcla disminuyó la resistencia a la abrasión es por ello que se tienen mayores pérdidas que son reflejadas en los resultados. También se tiene mayores desplazamientos verticales y laterales en la mezcla visualizados en el ensayo de rueda cargada.



Fig. 34. Especímenes de la mezcla luego de ser sometida a ensayos.

3.2 Discusión

Respecto a la selección de los agregados se optó por la obtención de agregados triturados terciarios por canteras locales que cumplan con los requerimientos de diseño de micro pavimento, la gradación estará especificado, siguiendo los requerimientos de las normas ISSA A-143. La granulometría del material cumple con el uso granulométrico tipo III de la especificación.

Con respecto al ensayo WTAT con la variable de CR.

El factor relevante es la debilidad que existe entre la unión del CR en la combinación asfáltica, Yongjun et al [49], de acuerdo a sus resultados observa que la presencia de CR en la combinación asfáltica envuelve la forma de los agregados, ocasionando de esta manera picos de absorción debilitados, reduciendo la actividad de relleno del material, por ende, disminuyendo la resistencia a la abrasión, coincidiendo con el caso ocurrido en los resultados del ensayo WTAT. Carrasco y Espinoza [50], obtiene una reducción de la resistencia a la abrasión en un 50% debido a la presencia del polvo de caucho en la combinación asfáltica, para una combinación asfáltica con un porcentaje de 10% de CR coincidiendo con los resultados obtenidos de la presente investigación. Sin embargo, se contrasta con la investigación de Castro [51] debido a obtiene un incremento de resistencia a la abrasión de 3.2% de la combinación asfáltica con 4.5% de CR en comparación a mezclas convencionales de asfalto en frío. Shackil et al [52] en el ensayo WTAT obtiene una pérdida por abrasión menor en una combinación asfáltica modificada con 3.5% de CR aumentando su resistencia a la abrasión en un 30% en comparación a una mezcla convencional existiendo una diferencia con los resultados obtenidos debido que se le hace un tratamiento para modificar las propiedades del caucho con nano sílice.

Con respecto al ensayo LWT con la variable de CR.

De la misma manera, Yongjun et al [49] coincide con los resultados obtenidos de rueda cargada dado que, reflejan que el CR en la combinación asfáltica ocasiona mayor pérdida de asfalto, debilitando la mezcla y reduciendo su resistencia al sangrado en un 20% en comparación a una mezcla de control. De la misma manera, Carrasco y Espinoza [50] obtiene

una reducción de la resistencia al sangrado en un 35% debido a la presencia del CR en comparación a la mezcla de control esto se debe a que el contenido de caucho aumenta considerable en volumen la mezcla, coincidiendo el caso presentado en los resultados de esta investigación. Sin embargo, Castro [51] sí logra obtener resultados favorables, evitando una pérdida de asfalto residual de 12% con un porcentaje de 4-5% de CR en la combinación asfáltica, contrastando con lo ocurrido en los resultados obtenidos mediante en ensayo LWT.

Con respecto al ensayo WTAT con la variable de SS.

Shaygan et al [28] en el ensayo WTAT, obtiene una pérdida menor al 12.5% de agregados en la mezcla que contiene escoria en 10% como sustituto de los áridos, para un porcentaje de emulsión de 8.5% se logra un mejor comportamiento en las propiedades mecánicas de micro pavimento, contrastando con los resultados obtenidos debido a la diferencia de porcentajes de emulsiones bituminosas evaluadas. En este sentido, Zalnhesad et al, [37], tiene una pérdida de 16.8% de agregados, para un porcentaje de emulsión de 9% dicha diferencia se da para un porcentaje de escoria del 50% contrastando con los resultados de la obtenidos porque se evalúa con diferente porcentaje de SS. Sin embargo, Mahmood et al [42] el cual muestra que en este ensayo el 50% de reemplazo de escoria es óptimo en reemplazo de los agregados, logrando obtener una reducción pérdida de áridos de hasta 25% contrastando con la investigación precisamente porque evalúa la escoria de acero en otro escenario y con diferentes porcentajes.

Con respecto al ensayo LWT con la variable de SS.

Shaygan et al [28] en el ensayo LWT, encuentra porcentajes de exceso de asfalto permitidos que ⁵ se encuentran dentro de los requerimientos de la norma ISSA, para todos los porcentajes de emulsión asfáltica en la mezcla con contenido de escoria al 10%, coincidiendo con los resultados obtenidos dado que, de igual manera se tienen todos los resultados de exceso de asfalto dentro del límite permitido por la guía de diseño para una mezcla con 10% de SS. En este sentido Zalnhesad et al [37] los porcentajes que encuentra dentro del rango son 8%, 9.5% y 10% de contenido de emulsión, dado que con un porcentaje mayor se tiene un exceso de asfalto que excede el límite en ¹ la mezcla con 50% de escoria de acero, lo cual

este mismo caso coincide debido a que, los resultados reflejan que a mayor contenido de escoria se obtiene mayores pérdidas de asfalto. Sin embargo, Mahmood et al [42] sus resultados reflejan que a mayor contenido de escoria de acero mayor resistencia al sangrado ofrece la combinación asfáltica dado que, con porcentaje de SS del 50% todos los porcentajes de exceso de asfalto estaban ³⁶ dentro de los rangos permitidos por la norma ISSA, contrastando con los resultados debido a que, la mezcla MB15.5 ya tiene exceso de asfalto no permitidos por la norma ISSA.

Respecto al diseño de micro pavimento MP

En este sentido, Zalnezhad et al [55] y Khaled et al [53] en el ensayo WTAT al aumentar el contenido de emulsión disminuye la pérdida por abrasión, obteniendo un mejor comportamiento con el contenido de emulsión 9% en dicho ensayo, el mismo porcentaje coincide en el aumento 5.9%, 11.7%, 16.8% y 15.7% de adherencia de arena en el ensayo LWT en sus muestras. Lo mismo sucede con Zalnezhad et al [37] que obtiene menos caídas de abrasión ¹² al aumentar el porcentaje de emulsión en la mezcla. Coincidiendo con los resultados obtenido, a mayor contenido de abrasión mayor pérdida de abrasión y mayor adherencia arena en los ensayos WTAT y LWT respectivamente.

Respecto al diseño de micro pavimento con SS.

Khaled et al [53] obtiene un mejor desempeño en los ensayos WTAT y LWC en porcentajes de 22.5 y 12.6% respectivamente en la combinación asfáltica con contenido ¹ de escoria de acero en comparación a la mezcla de control debido a que, la SS obtiene mayor resistencia a la abrasión obteniendo menores pérdidas de sangrado y adherencia. De la misma manera, Shuguang et al [54] sus resultados reflejan que, a mayor contenido de escoria, menores son las pérdidas tanto al exceso como a la pérdida de asfalto en las combinaciones, obteniendo incrementos de entre 35% y 22% para un contenido de 50% de escoria en la mezcla en la resistencia a la abrasión y sangrado respectivamente. Ambas investigaciones coinciden el caso ocurrido en la presente investigación. De lo contrario Zhalnezhad et al [55], obtiene resultados permitidos del límite de la ISSA, pero la mezcla con agregados naturales ofrece un mayor desempeño que la mezcla con escoria de acero con

una variación de 12% y 8% en los ensayos WTAT y LWt contrastando con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Coincidiendo con las investigaciones de Mahmoot et al [42] y Shaygan et al [28] que en dicho porcentaje de escoria de acero los ensayos de tiempo de mezclado y consistencia logran pasar satisfactoriamente en los requerimientos de la guía con 150s. De lo contrario contrastan con Shuguan et al y Zalnezhad et al [37], dado que su tiempo de mezclado fue de 120 s en este ensayo. Sin embargo, en el ensayo de cohesión a 30 min y 60 min difieren dado que tienen resultados de 13 kg-cm, 21 kg-cm y 15 kg-cm y 22 kg-cm respectivamente; pero cumpliendo con los requisitos de la guía.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se evaluó el comportamiento de caucho y escoria de acero en combinaciones asfálticas y se realizó el diseño de micro pavimento utilizando una comparación de estos materiales con los agregados naturales de micro pavimento. La revisión y análisis con respecto a las pruebas experimentales se pueden resumir de tal forma que.
- En la combinación con adición de caucho, entre los porcentajes evaluados, la que mostró un mejor comportamiento fue con la adición de 5% de caucho del peso de los agregados. Sin embargo, dicha combinación disminuyó en comparación de la combinación patrón, mostrándose más débil, disminuyendo de esta manera la resistencia al desprendimiento de la combinación asfáltica.
- Con respecto a las pruebas de agregados, mostraron que la escoria de acero tiene las propiedades requeridas para usar en combinaciones de micro pavimentos en reemplazo de los agregados y muchos parámetros como la abrasión en pista húmeda donde se mostró su mayor desempeño en las propiedades mecánicas. Sin embargo, el porcentaje donde mostró mayor desempeño fue con el 10% de escoria de acero, teniendo un comportamiento similar a la combinación con el 100% de agregados naturales.
- En la etapa de diseño se comprueba la eficacia de la escoria de acero en el incremento de las propiedades de calidad de combinación en comparación a la combinación de control, ocasionando un menor consumo de emulsión asfáltica en 3%, aumentado la resistencia al desprendimiento en 13.44% y logrando pasar los ensayos definitivos para el diseño de micro pavimento de grado AAA con un puntaje total de 12 puntos al igual que la convencional.
- Se comprobó que, al añadir caucho a la combinación, esta tiende a debilitarse y perder

resistencia al desprendimiento, no logrando cumplir satisfactoriamente los requisitos en los ensayos WTAT y LWT en la etapa de diseño, por lo que no es calificada en los requerimientos de diseño de micro pavimento.

- En este sentido, plantear la sustitución de escoria de acero por agregados es una propuesta ambiental muy significativa que aporta al desarrollo sostenible debido a su gran comportamiento en el desempeño de la combinación el cual puede traer grandes beneficios, debido a que se puede obtener una reducción de costos, energía, y amigable con el medio ambiente.

4.2 Recomendaciones

- Dado los resultados en las combinaciones asfálticas en frío destinadas a diseño de micro pavimento se recomienda utilizar la escoria de acero, que sea materia de investigación, debido a que nos ofrece muy buenos resultados, resaltar su resistencia a la abrasión, se recomienda para investigaciones futuras.
- Caso contrario ocurre cuando se añade CR en la combinación asfáltica, debido a que se proporciona una combinación mucha más densa, ello brinda gran pérdida en la resistencia a la abrasión, por lo cual no se recomienda ser utilizada en el diseño de micro pavimento.
- Como recomendación, se plantea realizar más investigaciones relacionadas con la aplicación de micro pavimento, debido a que es una técnica de mantenimiento preventivo muy poco usado en la actualidad.

● 16% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	hdl.handle.net	Internet	3%
2	repositorio.ucv.edu.pe	Internet	2%
3	creativecommons.org	Internet	2%
4	repositorio.uss.edu.pe	Internet	2%
5	repositorioacademico.upc.edu.pe	Internet	<1%
6	cybertesis.uni.edu.pe	Internet	<1%
7	ucr on 2023-03-09	Submitted works	<1%
8	Universidad Cesar Vallejo on 2022-11-30	Submitted works	<1%

9	slideshare.net Internet	<1%
10	repositorio.unal.edu.co Internet	<1%
11	theibfr.com Internet	<1%
12	Universidad Cesar Vallejo on 2023-07-06 Submitted works	<1%
13	Universidad Cesar Vallejo on 2022-12-01 Submitted works	<1%
14	mtc.gob.pe Internet	<1%
15	Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-05 Submitted works	<1%
16	repositorio.upla.edu.pe Internet	<1%
17	coursehero.com Internet	<1%
18	pirhua.udep.edu.pe Internet	<1%
19	repositorio.ulvr.edu.ec Internet	<1%
20	Corporación Universitaria Iberoamericana on 2023-10-16 Submitted works	<1%

21	ribuni.uni.edu.ni Internet	<1%
22	researchgate.net Internet	<1%
23	agencianotimx.wordpress.com Internet	<1%
24	scielo.sa.cr Internet	<1%
25	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2023-03-30 Submitted works	<1%
26	Universidad Cesar Vallejo on 2018-01-12 Submitted works	<1%
27	Universidad Continental on 2020-10-18 Submitted works	<1%
28	Universidad Jose Carlos Mariategui on 2018-03-08 Submitted works	<1%
29	Universidad Privada del Norte on 2023-11-20 Submitted works	<1%
30	Universidad San Ignacio de Loyola on 2023-09-20 Submitted works	<1%
31	unsaac on 2021-04-22 Submitted works	<1%
32	qdoc.tips Internet	<1%

33	repositorio.upao.edu.pe	Internet	<1%
34	Universidad Cesar Vallejo on 2016-06-08	Submitted works	<1%
35	martysabi.blogspot.com	Internet	<1%
36	repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr	Internet	<1%
37	ucr on 2022-02-28	Submitted works	<1%
38	gipuzkoa.eus	Internet	<1%
39	prezi.com	Internet	<1%
40	vieques.uprm.edu	Internet	<1%
41	finalcad.com	Internet	<1%
42	Miami University of Ohio on 2014-11-08	Submitted works	<1%
43	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2018-10-09	Submitted works	<1%
44	inba.info	Internet	<1%

45	inescop.es Internet	<1%
46	pesquisa.bvsalud.org Internet	<1%
47	colpos.mx Internet	<1%
48	conama.cl Internet	<1%
49	Pontificia Universidad Catolica de Chile on 2023-12-07 Submitted works	<1%
50	Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2022-03-26 Submitted works	<1%
51	Universidad Cesar Vallejo on 2019-01-25 Submitted works	<1%
52	Universidad Santo Tomas on 2021-12-03 Submitted works	<1%
53	journals.plos.org Internet	<1%
54	orbi.ulg.ac.be Internet	<1%
55	pubmed.ncbi.nlm.nih.gov Internet	<1%
56	repositorio.usil.edu.pe Internet	<1%

57	theibfr.com	Internet	<1%
58	angelique-india.com	Internet	<1%
59	biblioteca.udep.edu.pe	Internet	<1%
60	peru-retail.com	Internet	<1%
61	1library.co	Internet	<1%
62	Héctor Moreno Solaz. "Análisis y mejora del sistema integral de gestió...	Crossref posted content	<1%
63	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2023-05-21	Submitted works	<1%
64	Universidad Cesar Vallejo on 2016-06-24	Submitted works	<1%
65	Universidad Cesar Vallejo on 2016-06-27	Submitted works	<1%
66	Universidad Cesar Vallejo on 2023-06-27	Submitted works	<1%
67	Universidad Continental on 2018-10-17	Submitted works	<1%
68	Universidad Privada Antenor Orrego on 2023-01-04	Submitted works	<1%

69	Universidad Privada del Norte on 2023-11-07	<1%
	Submitted works	
70	colposdigital.colpos.mx:8080	<1%
	Internet	
71	es.scribd.com	<1%
	Internet	
72	repositorio.unsm.edu.pe	<1%
	Internet	
73	aemarkcongresos.com	<1%
	Internet	
74	construir.com	<1%
	Internet	