ATMIRE

Title	Importancia en la selección de criterios de diseño en el desempeño de micropavimentos aplicado al proyecto vial Conococha – Recuay
Item Type	info:eu-repo/semantics/bachelorThesis
Authors	Palomino Díaz, Michel Víctor;Rodríguez Balbín, Erika Fiorella
Citation	[1] P. Díaz, M. Víctor, R. Balbín, and E. Fiorella, "Importancia en la selección de criterios de diseño en el desempeño de micropavimentos aplicado al proyecto vial Conococha – Recuay," Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2017.
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	info:eu-repo/semantics/openAccess
Download date	2026-11-28 05:23:22
Item License	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/
Link to Item	http://hdl.handle.net/10757/622453

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO TESIS

IMPORTANCIA EN LA SELECCIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO EN EL DESEMPEÑO DE MICROPAVIMENTOS APLICADO AL PROYECTO VIAL CONOCOCHA – RECUAY

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los alumnos:

MICHEL VÍCTOR PALOMINO DÍAZ

ERIKA FIORELLA RODRÍGUEZ BALBIN

ASESOR:

MSc. ING. GUILLERMO LAZO LÁZARO

Lima, Julio del 2017

DEDICATORIA

A mis padres, Víctor Rodríguez y Josefina Balbín por ser el ejemplo de sacrificio y superación, por el cariño y el apoyo incondicional que siempre me dan, por ayudarme a hacer realidad mis sueños.

A mis hermanos Melissa y Ricardo Rodríguez por ser de apoyo en momentos difíciles. A mis abuelos; Vituki, Aleja, Casimiro; tíos y primos, quienes fueron de gran apoyo emocional.

A mis amigos de la vida Alexandra L. - Carolina C. - José Ch.- Rocío F. y Renzo C.

A mis colegas Charito B. – Karen D. – Claudia C. – Gaby H. – Mitchael C. – J. P.O - Master – Zeus.

A Dios, por darme fortaleza para este arduo camino.

Erika Fiorella Rodríguez B.

A mis padres, Héctor Palomino y Matilde Díaz por ser el ejemplo de sacrificio y por el apoyo que me brindan para poder cumplir con mis metas.

A mi hermano, tíos, tías y a mis familiares en general por el apoyo tanto emocional como por los consejos que me brindan para poder seguir cumpliendo metas y trazarme nuevas.

Y dedicado a los ingenieros y profesionales que laboran en la prestigiosa casa de estudios de la UPC, universidad a la cual estaré eternamente agradecido por las enseñanzas tanto profesional y ético.

Cómo olvidarse de las instituciones e ingenieros que nos apoyaron para llevar adelante la presente investigación, solo mencionar a algunas: COSAPI, TDM Asfaltos, Ing. Guillermo Lazo, Ing. Iván Bragagnini, Ing. Jorge Escalante, entre otros.

A Dios, por darme fortaleza para este arduo camino.

Michel Victor Palomino D.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar, a nuestro asesor y colaborador directo de la presente investigación de tesis, el Ingeniero Guillermo Lazo Lázaro, por tener la ardua labor de sumergirnos en el mundo de los micropavimentos y guiarnos de una manera adecuada para conocer mejor sobre el tema.

Al grupo de ingenieros, técnicos y trabajadores en general de la Empresa COSAPI, quienes nos guiaron y ayudaron con la visita a obra para poder experimentar directamente la labor de los trabajos en campo y de esa manera poder complementar la investigación teórica realizada. A los técnicos del laboratorio TDM Asfaltos, donde realizamos todos los ensayos y el diseño de micropavimentos.

Agradecemos en general a todas las personas involucradas con la investigación, que nos apoyaron e hicieron realidad el desarrollo y posterior culminación de la presente investigación.

A Dios y al universo por haber conspirado para mantenerme firme y no decaer a pesar de las adversidades presentadas durante este gran esfuerzo y dedicación que mereció mi carrera como Ingeniero Civil.

RESUMEN

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la fecha del 21 de mayo del 2015 suscribe el Contrato Complementario para el "Servicio de Gestión y Conservación Vial de la Carretera Emp.1N – Conococha – Huaraz – Caraz – Molinopampa – y Emp. 3N – Chiquián – Aquia – Emp. 3N", cuya culminación será el día 22 de mayo del 2016. La carretera está dividida en cinco tramos, donde se verificó, que tanto superficial como estructuralmente, el pavimento a lo largo de todos los tramos presenta condiciones aceptables para la continuidad de la puesta en servicio por un periodo de un año más, en tanto a la evaluación funcional de acuerdo al índice de irregularidad medido y, por la alta frecuencia de vehículos desde Huaraz hacia Pativilca, se encuentra que los tramos Conococha-Huaraz, requieren una intervención con fines de mejorar la funcionalidad de la vía.

El mejoramiento en la condición funcional en pavimentos ha ido desarrollándose de manera gradual, de manera que existen formas de mejorar eficientemente el desempeño del micropavimento y prolongar la vida útil del pavimento. Es por ello, que surge la siguiente pregunta: ¿Es importante la selección de criterios de diseño en el desempeño de micropavimentos aplicado al proyecto vial Conococha – Recuay? Ante esta situación, se propone una evaluación de criterios de diseño de micropavimentos, el método de la intersección de curvas y el de áreas equivalentes, donde se compare mediante los ensayos de desempeño y se compruebe cuál es el conveniente para desarrollar un mejor desempeño óptimo. Cabe resaltar que el éxito del micropavimento se garantiza cumpliendo los siguientes principios: materiales de alta calidad, diseño competente y procedimientos constructivos.

La metodología empleada inicia con la toma de muestra en campo perteneciente a la cantera Acaray, para luego proceder a la caracterización de agregados, donde se realizarán los siguientes ensayos: granulometría, equivalente de arena, azul de metileno y peso unitario. Posteriormente, se inician las pruebas de laboratorio para el diseño de

mezcla de micropavimento. Se utiliza la metodología de las Áreas Superficiales para obtener un porcentaje teórico emulsión y en base a este resultado se inicia con la iteración de encontrar las cantidades necesarias de cada componente del micropavimento y realizar las siguientes pruebas: tiempo de mezclado, cohesión, abrasión en húmedo y rueda cargada. Con los resultados obtenidos se procede a graficar las curvas por ambas versiones de diseño para obtener el porcentaje de contenido óptimo de asfalto, con este resultado se realizarán la comparación mediante las pruebas de desempeño (abrasión en húmedo y rueda cargada), verificando así cuál es la que presenta un mejor resultado; como paso final se realiza la prueba diferencial con la que se verificará la compatibilidad de los componentes, el Schulze Breuer and Ruck. Una vez comprobada esta prueba se finaliza con el diseño.

Finalmente, a través de la comparación de los resultados se puede comprobar que para este caso, el mejor criterio es el de las áreas equivalentes, pues permitirá una mayor durabilidad, evitar problemas de exudación, una superficie más resistente al desgaste, antiderrapante, impermeable, además que se logró mantener el IRI por debajo de 2.5 m/km como aporte adicional.

Palabras claves: Micropavimento, Pruebas de desempeño, Criterio de diseño, Contenido óptimo de asfalto

ABSTRACT

The Ministry of Transport and Communications on May 21th, 2015 approved the Supplemental Indenture to the "Management and Conservation Service Road off Highway Emp.1N - Conococha - Huaraz - Caraz - Molinopampa - and Emp. 3N - Chiquián - Aquia - Emp. 3N ", that will culminate on May 22 th, 2016. The road divided into five sections, where it verified that both superficially and structurally, the pavement along all sections presents acceptable conditions for the continuity of commissioning for a period of one year, while the functional evaluation according to the Index measured irregularity and the high frequency of vehicles from Huaraz to Pativilca, is that Conococha-Huaraz, sections require intervention purposes of improving pathway functionality.

The improvement in functional status in pavements has been developing gradually, so that there are ways to improve efficiently the microsurfacing performance and extend the life of the pavement. That is why the next question arises : Is it important the selection of design criteria in the performance of microsurfacing applied to the road project Conococha - Recuay ? In this situation, an assessment of design criteria microsurfacing, method of intersection of curves and equivalent areas where it is compared with performance tests and check which is suitable to develop a better optimal performance is proposed. Significantly, the success of microsurfacing are guaranteed to meet the following mains : high quality materials, competent design and construction procedures.

The methodology stars with field sampling, belonging to the Acaray quarry, and then proceed to the characterization of aggregates, where the following tests were performed : Granulometry, Sand Equivalent Test, Methylene Blue Test and Unit Weight. Subsequently, laboratory tests stars for mix design microsurfacing. A theoretical percentage emulsion obtains by the Surface Area Method and based on this result it starts with the iteration to find the required amounts of each component of

microsurfacing and perform the following tests : Mix time, Wet Cohesion, Wet-Track Abrasion Loss and Loaded wheel Test. With the results obtained proceeds to plot curves for both versions of design for the percentage of optimum asphalt content with this result comparison is made by performance tests (Wet-Track Abrasion Loss and Loaded wheel Test), verifying what the that presents a better result ; Finally, the differential test with which the compatibility of the components is verified, the Schulze Breuer and Ruck. Once checked this test is finished with design.

Finally, the result of research by comparing the results, it can be seen that in this case the best criteria is equivalent areas, then it will allow greater durability, avoid the problems of exudation, a wear resistant surface, anti-slip, waterproof, the same way the IRI remained below 2.5 m/km as additional contribution.

Keywords :Microsurfacing, Performance testing, Design criteria, Optimum asphalt content

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS 4
RESUMEN 5
ABSTRACT 7
INTRODUCCIÓN 14
CAPÍTULO I : GENERALIDADES 17
1.1. ANTECEDENTES 17
1.2.OBJETIVOS 23
1.2.1. OBJETIVO GENERAL 23
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 23
1.3. PROBLEMÁTICA 24
1.4. JUSTIFICACIÓN 24
1.5. HIPÓTESIS 26
1.6. DELIMITACIÓN 27
1.7. DISEÑO METODOLÓGICO 28
1.7.1. POBLACIÓN Y MUESTRA 28
1.7.2. VARIABLES 29
1.7.3. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS 29
1.8. INDICADORES DE LOGROS 30
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO FUNDAMENTAL 32
2.1. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 32
2.1.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES 32
2.1.2. CAPA DE RODADURA ASFÁLTICA 36
2.1.2.1. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES 37
2.1.2.1.1. TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA: 37
2.1.2.1.2. TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA: 37
2.1.2.1.3. CAPE SEAL: 38

2.1.2.1.4. LECHADA ASFÁLTICA (SLURRY SEAL): 38
2.1.2.1.5. MICROPAVIMENTO (MICROSURFACING): 38
2.1.2.2. EMULSIÓN ASFÁLTICA 39
2.1.2.2.1. CLASIFICACIÓN 40
2.1.2.3. POLÍMERO 41
2.2. CONSERVACIÓN VIAL 43
2.2.1. CONTEXTO 43
2.2.2. DEFINICIÓN 44
2.2.3. CONSERVACIÓN RUTINARIA 47
2.2.4. CONSERVACIÓN PERIÓDICA 47
2.2.5. CONTRATO DE CONSERVACIÓN VIAL COMPLEMENTARIO 48
CAPÍTULO III : TECNOLOGÍA DE MICROPAVIMENTOS 50
3.1. DEFINICIÓN 50
3.2. COMPONENTES O INSUMOS 52
3.2.1. EMULSIÓN ASFÁLTICA 52
3.2.2. POLÍMERO 55
3.2.3. AGREGADOS 55
3.2.4. FINOS MINERALES 57
3.2.5. AGUA 58
3.2.6. ADITIVO DE CONTROL DE CAMPO 59
3.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO 60
3.3.1. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA 60
3.3.1.1. EQUIVALENTE DE ARENA 61
3.3.1.2. AZUL DE METILENO 61
3.3.1.3. PESO UNITARIO 61
3.4. MEZCLA ASFÁLTICA 61
3.4.1. CONTROL DE DESEMPEÑO 62
3.4.1.1. PRUEBA DE COHESIÓN (ISSA TB 139) 62
3.4.1.2. PRUEBA DE ABRASIÓN EN HÚMEDO (ISSA TB 100) 64
3.4.1.3. PRUEBA DE RUEDA CARGADA (ISSA TB 109) 65

3.4.2. PRUEBA DE VERIFICACIÓN 67
3.4.2.1. PRUEBA SCHULZE BREUER AND RUCK (ISSA TB 144) 67
3.5. CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN DEL RESIDUO ASFÁLTICO 69
3.5.1. CRITERIO DE LA INTERSECCIÓN DE CURVAS 70
3.5.2. CRITERIO DE LAS ÁREAS EQUIVALENTES 71
CAPÍTULO IV : DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 73
4.1. ANTECEDENTES 73
4.2. UBICACIÓN 77
4.3. CLIMA 79
4.4. TOPOGRAFÍA 80
4.5. GEOLOGÍA 81
4.5.1. GEOLOGÍA REGIONAL 81
4.5.1.1. GEOMORFOLOGÍA 81
4.5.1.2. LITOLOGÍA 83
4.5.1.3. MATERIAL DE COBERTURA 84
4.5.2. GEOLOGÍA LOCAL 85
4.5.2.1. GEOMORFOLOGÍA 85
4.5.2.2. ROCAS DE BASAMENTO 85
4.5.2.3. MATERIAL DE COBERTURA 86
4.6. HIDROGRAFÍA 86
4.6. HIDROLOGÍA 87
4.8. SISMICIDAD 87
CAPITULO V: DISEÑO DE MICROPAVIMENTOS 91
5.1. TOMA DE MUESTRAS DEL PROYECTO 91
5.1.1. UBICACIÓN 91
5.2. CANTERA Y FUENTES DE AGUA 92
5.2.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO DE LA CANTERA ACARAY 94
5.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO 95
5.3.1. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA 95

5.3.2. EQUIVALENTE DE ARENA 97
5.3.3. AZUL DE METILENO 97
5.3.4. PESO UNITARIO 98
5.4. SELECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE LA EMULSIÓN 99
5.5. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ESPECIALES DE LABORATORIO 100
5.6. DISEÑO EN LABORATORIO DE MICROPAVIMENTOS 101
5.7. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO 103
5.7.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO 103
5.7.2. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO 104
5.7.2.1. CONTENIDO TEÓRICO DE EMULSIÓN – MÉTODO DE LAS ÁREAS SUPERFICIALES 104
5.7.2.2. TIEMPO DE MEZCLADO 107
5.7.2.3. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MICROPAVIMENTO 108
5.7.2.4. PRUEBA DE ABRASIÓN EN HÚMEDO (WTAT) 109
5.7.2.5. PRUEBA DE RUEDA CARGADA (LWT) 109
5.7.2.6. CÁLCULO DE LA CANTIDAD ÓPTIMA DE EMULSIÓN 110
5.7.2.6.1. CRITERIO DE LA INTERSECCIÓN DE CURVAS 112
5.7.2.6.2. CRITERIO DE LAS ÁREAS EQUIVALENTES 113
5.7.3. PRUEBA DE VERIFICACIÓN 115
5.7.3.1. PRUEBA SCHULZE BREUER AND RUCK 115
CAPITULO VI: ANÁLISIS Y RESULTADOS 117
6.1. DESEMPEÑO DEL MICROPAVIMENTO 117
6.1.1. ESTUDIO DE TRÁFICO 118
6.1.2. METODOLOGÍA 121
6.2. ANÁLISIS DEL DISEÑO TEÓRICO DE MICROPAVIMENTO 127
6.2.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO 127
6.2.1.1. ENSAYOS DE DESEMPEÑO PARA EL DISEÑO DE MICROPAVIMENTOS 130

6.2.1.2. ENSAYOS DE DESEMPEÑO PARA CADA CRITERIO DE EVALUACIÓN DEL RESIDUO 132
6.3. DIRECTRICES REFERIDAS AL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO 136
6.3.1. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS 137
6.3.2. CONTROLES DEL MICROPAVIMENTO EN CAMPO 138
6.3.3. TRAMO DE PRUEBA 138
6.3.4. VERIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUO ASFÁLTICO .. 139
6.3.5. VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGREGADO 142
6.4. EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DE EJECUCIÓN 143
CONCLUSIONES 145
RECOMENDACIONES 149
BIBLIOGRAFÍA 150

INTRODUCCIÓN

¿Es importante realizar un tratamiento, mejoramiento superficial y mantenimiento preventivo al pavimento en el país? Durante los últimos años, el Perú, ha presentado una deficiencia respecto al tema de infraestructura vial. La problemática surge debido a diversos factores como escasez de recursos económicos, zonas que presentan extrema pobreza y con grandes potenciales económicos pero no son explotados por abandono del estado, el privilegio a la ejecución de obras viales a nivel de pavimentación nueva, entre otros.[1] Ante esta situación, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones crea el Proyecto Perú, el cual implementa el contrato por conservación vial, un innovador sistema de gestión vial, que permite poner en servicio y seguridad el funcionamiento continuo de carreteras de alto y bajo volumen de tránsito.[2] De manera que, se busca consolidar la intervención de corredores viales, y estos puedan abrir paso al desarrollo sostenido y mejora del nivel competitivo de diversas poblaciones en el interior del país en carreteras.[3] El plan de conservación, como parte de sus lineamientos, plantea las mejores soluciones con el fin de cumplir con los niveles de servicio señalados; así como, controlar de manera permanente estos niveles y mejorar las condiciones funcionales del pavimento durante el periodo del contrato.[4]

Por lo tanto, el mejoramiento en la condición funcional y superficial del pavimento ha ido desarrollándose de manera gradual, de manera que existen formas de mejorar con

[1] Cfr. PROVIAS 2014

[2] Cfr. PROVIAS 2014

[3] Cfr. PROVIAS 2014

[4] Cfr. PROVIAS 2014

mayor eficiencia el desempeño de distintos tratamientos superficiales, en este caso, el micropavimento, y así, prolongar la vida útil de la vía. Es por eso que surge la siguiente pregunta: ¿Es importante la selección de criterios de diseño en el desempeño de micropavimentos aplicado al proyecto vial Conococha – Recuay? El presente proyecto de investigación tiene como objetivo, demostrar la importancia en la selección del criterio de diseño, que permitirá afinar el óptimo contenido de asfalto, el cual llevará a desarrollar un mejor desempeño del micropavimento, pues minimizará riesgos por déficit o exceso de ligante, en el proyecto vial Conococha – Recuay; para poder tener un mejor panorama y entendimiento de esta situación, en el capítulo uno se hará una presentación del tema donde se desarrollará antecedentes, la problemática, metodología, hipótesis, objetivos, justificación, la delimitación del tema e indicadores de logros. En el capítulo dos, se dará a conocer un panorama conceptual de los siguientes términos, pavimentos asfálticos y conservación vial, así como, de su intervención respecto al tema de investigación. En el capítulo tres, se explicará a detalle acerca de la tecnología de micropavimentos y sus directrices para obtener un óptimo desempeño. El capítulo cuatro proporcionará la descripción del proyecto Conococha - Recuay, donde se presentará características como ubicación, clima, geología, hidrología, sismicidad, entre otros. El capítulo cinco desarrollará la parte de diseño – teórico – experimental del proyecto, enfocándose en el procedimiento de diseño del micropavimento. En el capítulo seis, se analizará y comprobará los resultados obtenidos y finalmente, en base a los resultados se desarrollarán las conclusiones y recomendaciones respectivas.

Para el desarrollo de los temas mencionados se usarán distintas fuentes académicas, entre las cuales está la International Slurry Surfacing Association (ISSA), Manual de "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" (EG[5] 2013), Manual de Carreteras – Conservación Vial, Condiciones para Prácticas de Diseño, Construcción y Rendimiento de Micropavimentos; y NCHRP (National Cooperative Highway

[5] EG son las siglas para Especificaciones técnicas generales para construcción.

Research Program); las cuáles serán las más resaltantes debido la normativa, recomendaciones y solidez en sus ideas respecto al tema. Con respecto al alcance del trabajo, está enfocado a un proyecto vial, donde se evaluará el tramo de Conococha – Recuay de 22 km, el cual forma parte de la carretera Pativilca - Conococha - Huaraz - Caraz - Molinopampa y Chiquián - Aquia de 332 km. Se realizará el diseño del micropavimento, en el cual se determinarán la composición de sus componentes en porcentajes: emulsión, agregados (arena), aditivos, agua y finos (filler o cemento portland tipo I). Posteriormente, se realizarán ensayos para la mezcla y se obtendrá el contenido óptimo de asfalto, para ambos criterios de diseño (Criterio de la intersección de curvas y Criterio de las Áreas equivalentes). Se realizará una evaluación, por medio de ensayos de laboratorio que miden el desempeño y así poder realizar un comparativo entre los dos resultados de diseño establecidos por la norma ISSA A143.

Ante la problemática planteada, la selección del criterio de las áreas equivalentes permitirá afinar el óptimo contenido de asfalto, el cual siendo usado en los ensayos abrasión y rueda cargada (ensayos que miden desempeño) permitirán comprobar un mejor desempeño del micropavimento, pues minimizará los riesgos por déficit o exceso de ligante. A continuación, se presentará el capítulo 1.

CAPÍTULO I : GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

El presente trabajo de investigación es una compilación de la evaluación y diseño del micropavimento (microsurfacing). Para este fin, se hace uso de las distintas fuentes de información tales como las normas ISSA, AASHTO y ASTM; así como manuales y trabajos de investigación.

En este sentido, cabe mencionar que en el Perú es aún escasa la información y, los trabajos realizados aplicando la tecnología del micropavimento. Motivo por el cual, en el presente trabajo de investigación, se busca aclarar y familiarizar al lector con esta alternativa, ya que las capas de rodadura y tratamientos superficiales resultan ser más económicos y amigables con el ambiente en comparación a las carpetas asfálticas.

De manera sencilla, podemos definir un micropavimento como un sistema de pavimentación compuesto por emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregados cien por ciento chancados (arena), finos minerales (filler, cemento portland tipo I, cenizas volantes, entre otros), agua y aditivos (emulsificantes o mejoradores de adherencia) según sea el caso.[6]

El uso adecuado de esta nueva tecnología, implica que se puedan generar mayores beneficios debido al alto desempeño del micropavimento, la cual presenta como mayor ventaja un mínimo esfuerzo en el mantenimiento en comparación con el Slurry Seal.

[6] Cfr. FHWA 1994: 04

El MTC[7] es el organismo que se encarga de dirigir todas las vías a Nivel Nacional. Sin embargo, por la complejidad y cantidad de vías existentes a lo largo y ancho de todo el territorio peruano, crea organismos para que puedan administrar parte de estas vías. Dentro de estas organizaciones se encuentran: Provías Nacional, los Gobiernos Regionales y los Gobiernos Locales. Provías Nacional es el organismo más importante y reconocido, pero a pesar de ello sólo se encarga de administrar el 19% de las vías a nivel nacional.

Provías Nacional clasifica las vías de acuerdo a la evolución y la demanda que representa cada tramo de la carretera estudiada. A continuación, en la figura 1-1, se presenta el estado situacional y la clasificación de las vías ejecutadas por Provías Nacional en el territorio peruano:

Figura 1-1: Clasificación de las rutas por Provías.



Fuente: Provías Nacional 2014

[7] MTC son las siglas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

La figura 1-1, presenta la evolución de las vías, la cual se concreta tal como lo indica el sentido de la flecha. En primera instancia, se encuentran los caminos pavimentados, los cuales representan gran parte de las vías a cargo de Provías. Son rutas que no representan mucha demanda, motivo por el cual no necesita de un tratamiento especial, ya que el análisis costo – beneficio no lo amerita. Estos caminos son de corta duración, puesto que solo presentan una capa de afirmado para la circulación de los vehículos de la zona.

En segunda instancia, cuando la demanda crece ya sea por actividades mineras, comerciales o turísticas; los caminos no pavimentados pasan a formar parte del grupo de las soluciones básicas. Las soluciones básicas están formadas por una capa granular, la cual está diseñada para soportar toda la carga ocasionada por el tráfico. Además, se le coloca una superficie de rodadura generalmente con tratamientos superficiales para mejorar el nivel de servicialidad y prolongar la durabilidad del pavimento.

Finalmente, cuando el tráfico es mucho mayor y lo costos son menores a los beneficios estudiados, la vía pasa a formar parte del grupo de los caminos asfaltados. Este es el grupo superior de los pavimentos y también el más caro. Está compuesto, por una o dos capas granulares cubiertas por una carpeta asfáltica, la cual sí presenta aporte estructural a diferencia de los tratamientos superficiales aplicados en los caminos con solución básica.

A pesar de que Provías solo representa al 19% de las vías en Perú, gran parte de estas aún se encuentran en el nivel más bajo de su evolución. Por tal motivo, los micropavimentos son una propuesta económicamente viable para mejorar la situación de las vías a nivel nacional. El uso de los micropavimentos ha tenido resultados satisfactorios a lo largo de su uso desde 1980 en los Estados Unidos.[8] Posteriormente está tecnología se expandió a lo largo de los demás estados y también llegó al Perú,

[8] Cfr. FHWA 1994: 04

actualmente ya existen varios proyectos de carreteras concluidos con el uso de micropavimentos, los cuales mostraron buenos resultados.

Un caso ejemplar es el Contrato de Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial: EMP. PE 1N –CONOCOCHA – HUARAZ – CARAZ – MOLINOPAMPA y EMP. 3N – CHIQUIÁN – AQUIA – EMP. PE-3N (333.4 Km.), el cual estuvo a cargo del Consorcio COSAPI TRANSLEI con una duración de 5 años que finalizó en marzo del 2015. Este proyecto usó la tecnología de micropavimentos en el tramo Conococha – Huaraz – Caraz – Molinopampa, y de acuerdo a la memoria institucional de la Región Ancash el contrato se encuentra concluido y no presenta ningún inconveniente. Actualmente esta vía se encuentra en un contrato de conservación complementario por el periodo de un año, lo cual es debido al buen trabajo realizado por el consorcio.

A continuación, se explica con mayor detenimiento la situación de las vías en el Perú para un conocimiento general de las mismas, y poder detallar específicamente en donde se encuentra el proyecto que se desarrolla en la presente investigación.

- SITUACIÓN ACTUAL DE LAS VÍAS EN EL PERÚ

La infraestructura del transporte es uno de los soportes fundamentales para la integración y crecimiento económico de un país en proceso de desarrollo como el Perú. En este sentido, la calidad de la red vial nacional es un indicador del desarrollo y de la competitividad del país. A pesar de que la inversión del estado se ha ido incrementando en el sector transporte, actualmente se puede apreciar que aún falta mucho por avanzar para poder contar con un adecuado sistema de transporte al interior del país e incluso en nuestra capital.[9]

[9] Cfr. Provías 2015: 7

De acuerdo con algunos datos proporcionados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la red vial existente en el Perú para el año 2011 se clasifica de la siguiente manera:

1. La Red Vial Nacional,

Con una extensión de 23,075 Km está conformada por los principales ejes longitudinales y transversales en el país. El 54% de esta red vial tiene algún tipo de pavimento y el 46% aún se encuentra a nivel de base granular afirmada, sin afirmar o en trocha. En cuanto a la condición de su superficie, alrededor del 71% se encuentra en buen o regular estado de transitabilidad y un 29% en malas condiciones.

2. La Red Vial Departamental o Regional,

Con una extensión de 25,329 Km, se encuentra comprendida por las carreteras de segundo nivel; solo el 8% de esta red vial se encuentra pavimentada y 92% sin pavimentar. Actualmente, cerca del 61% se encuentra en estado bueno o regular y el 36% en estado malo o muy malo.

3. La Red Vial Vecinal o Rural,

Con una extensión total de 71,643 Km, integrada por las carreteras de nivel local, presenta una condición de pavimentado en solo el 2% y el resto a nivel de trochas o sin afirmar. Asimismo, el 43% de esta Red Vial se encuentra en estado bueno o regular, el 41% malo o muy malo y un 17% de vías no cuentan con información sobre el particular; además existen 24,184 Km. de vías vecinales no registradas.

Como podemos apreciar, la red Vial Nacional es la que presenta menor extensión. Sin embargo, la RVN es la más importante en el país para la integración de los principales focos comerciales, turísticos y mineros. Además, el proyecto vial de la presente investigación se encuentra dentro de esta red, específicamente en la Longitudinal de la Sierra.

Con la intención de profundizar más acerca de la Red vial Nacional, presentamos la primera tabla con la clasificación de los ejes carreteros con respecto a su superficie de

rodadura. La información presentada es la última actualización del Plan Operativo Institucional 2015 realizada por Provías Nacional en septiembre del 2014. A continuación, la tabla I-1 muestra que aún existe un gran porcentaje de las vías que no cuentan con un adecuado nivel de servicio, tal como sucede con las carreteras pavimentadas.

Tabla I-1: RVN por tipo de superficie de rodadura y según eje vial (en kilómetros).

EJE-RUTA	PAVIMENTADA			NO PAVIMENT.	RED VIAL NACIONAL (RVN)			% RVN PAVIMENT.
	Asfaltada	Solución Básica	TOTAL		Existente	Proyectada	Total	
PE-1 Longitudinal de la Costa	2634	-	2634	-	2634	-	2634	100%
PE-3 Longitudinal de la Sierra	2256	503	2759	744	3503	-	3503	79%
PE-5 Longitudinal de la Selva	1167	324	1491	319	1810	858	2668	82%
Variantes y Ramales	4778	1288	6066	2760	8826	559	9385	69%
Ejes Transversales	2770	926	3696	5155	8851	363	9214	42%
TOTAL (km)	**13605**	**3041**	**16646**	**8978**	**25624**	**1780**	**27404**	**65%**
Estructura (%)	**53.1%**	**11.9%**	**65.0%**	**35.0%**	**100.0%**			

Fuente: Provías Nacional 2014.

En la tabla I-1, se puede observar que aún hay gran parte de las vías nacionales que requieren de una adecuada gestión por parte de las autoridades pertinentes, en este caso Provías Nacional. Además, podemos apreciar que la Red Vial Nacional no presenta un gran avance desde el 2011, es decir, en los últimos 4 años se pasó de un 54% de carreteras pavimentadas a un 65% de éstas para finales del 2014. Finalmente, el crecimiento de la RVN en general fue de aproximadamente 4300 km, lo cual representa alrededor de un 19% más de vías en los registros de Provías Nacional en el período 2011 al 2015.

Por este motivo, el MTC busca la manera más rentable de gestionar las vías a nivel nacional, y parece ser que por medio de un contrato de conservación vial los riesgos se minimizan para el estado y se obtienen mejores resultados y adecuados niveles de servicio para los usuarios y población en general.

El proyecto perteneciente a la presente investigación pertenece a la Longitudinal de la Sierra, la cual está dividida en tres tramos y fueron licitadas por medio de un contrato de concesión a partir del 2017.

Además, se deben innovar las tecnologías para optimizar el uso de recursos y obtener la mayor satisfacción del cliente (en este caso el MTC y la población usuaria). Por este motivo, presentamos el micropavimento como una tecnología recomendada por sus buenos resultados, pero poco usada en el Perú, para que los colegas puedan tener mayores alternativas a la hora de realizar sus estudios para un futuro proyecto.

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar la importancia en la selección del criterio de diseño, que permitirá afinar el óptimo contenido de asfalto, el cual llevará a desarrollar un mejor desempeño del micropavimento, pues minimizará riesgos por déficit o exceso de ligante, en el proyecto vial Conococha – Recuay.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar mediante ensayos de laboratorio los agregados, mezclas asfálticas, agua y aditivos (componentes).
- Analizar y comparar los criterios de diseño para obtener el contenido óptimo de asfalto en la mezcla de micropavimento propuesta.
- Comprobar y comparar el desempeño del micropavimento mediante los ensayos teórico - experimental de laboratorio que miden desempeño.

- Describir la situación actual del proyecto vial Conococha – Recuay.
- Definir Pavimentos asfálticos y Conservación Vial.
- Definir Micropavimento y describir sus criterios de diseño.

1.3. PROBLEMÁTICA

Planteamiento del problema: En la actualidad, el Programa Proyecto Perú está diseñado para asegurar el funcionamiento de las carreteras con el fin de evitar el deterioro prematuro de las vías; para ello y mediante los contratos de conservación vial, se utilizan diversos tipos de tratamiento superficial.[10] Uno de ellos es el micropavimento, donde existen dos criterios de diseño para obtener el óptimo contenido de asfalto, por medio de los cuales se podrá evaluar y determinar el resultado más favorable para cada proyecto en particular, y así poder prolongar la vida útil del pavimento. En este caso se analizará el tramo micropavimentado comprendido del Proyecto Vial Conococha – Recuay.

Formulación del problema: Es por ello que surge la siguiente pregunta: ¿Es importante la selección de criterios de diseño en el desempeño de micropavimentos aplicado al Proyecto Vial Conococha – Recuay?

1.4. JUSTIFICACIÓN

Los micropavimentos, para que puedan desempeñarse de manera eficiente están basados en tres directrices fundamentales: materiales de alta calidad, diseño competente y procedimiento constructivo; para ello, se necesita del cumplimiento de estándares de calidad y, elaboración de un plan de trabajo; para el diseño se presentan dos criterios, el cuál su elección permitirá afinar el óptimo contenido de asfalto, logrando mejorar el desempeño del micropavimento. Además, este tipo de tratamiento

[10] PROVIAS 2014: 01

superficial resulta ser una técnica innovadora, presentando varios beneficios, que se mencionarán a continuación.

Los micropavimentos, son una alternativa entre muchas para la construcción de capas de rodadura y/o para la rehabilitación de pavimentos asfálticos con problemas funcionales superficiales (fisuras); que permite la reducción de costos de mantenimiento.

El Micropavimento presenta características de durabilidad y resistencia ante temperaturas extremas debido a la adición de polímeros a la mezcla, lo cual aumenta las razones de su elección.

Por otro lado, es muy recomendable usarlo en zonas en que el tráfico es constante y no se puede cerrar la vía por mucho tiempo. Con el micropavimento el tráfico puede ser reabierto transcurrido dos horas de su colocación en la carretera, por lo cual es una buena alternativa para vías principales de alto tráfico. Esto debido a la emulsión de rotura controlada.

Los micropavimentos son realizados bajo la normativa ISSA, la cual posee unos estándares muy rigurosos y exigentes de calidad lo que permitirá aumentar la vida útil del pavimento. Además, permite mejorar los niveles de servicio y mejorar su condición superficial, funcional y de seguridad. Esto es medido en términos de IRI (índice de regularidad internacional).

El micropavimento permite una evolución en el uso de técnicas de tratamiento superficial, que anteriormente eran vistas como una simple técnica de sellado superficial en carreteras secundarias, y ahora resultan ser una excelente alternativa como superficie de rodadura para carreteras principales de alto volumen tránsito.

El micropavimento al ser una técnica en frío es más ecológico, ya que necesita de menos energía para su mezclado con el árido, en comparación con las carpetas asfálticas.

1.5. HIPÓTESIS

Hipótesis General:

La selección del criterio de las áreas equivalentes permitirá afinar el óptimo contenido de asfalto, el cual siendo usado en los ensayos abrasión y rueda cargada (ensayos que miden desempeño) permitirán comprobar un mejor desempeño del micropavimento, pues minimizará los riesgos por déficit o exceso de ligante.

Hipótesis Secundarias:

Trabajar con el criterio de las áreas equivalentes nos brinda la seguridad de evitar problemas de susceptibilidad al ahuellamiento, exudación o desgaste prematuro y pérdida de abrasión; a comparación del criterio de la intersección.

Si bien la elección del criterio de las áreas resulta ser la mejor alternativa, cabe resaltar, que para que el micropavimento pueda desempeñarse de manera eficiente, se necesita de: materiales de alta calidad, que cumplan con las especificaciones del ISSA A143 y, tener en cuenta el procedimiento constructivo, planificando un adecuado tren de trabajo para lograr un óptimo rendimiento.

Tabla I-2: Indicador de logro final.

HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADOR	FORMA DE MEDICIÓN
La selección del criterio de las áreas equivalentes determinará un óptimo contenido de asfalto, el cual siendo usado en los ensayos abrasión y rueda cargada (ensayos que miden desempeño) permitirán comprobar un mejor desempeño del micropavimento.	Criterio de las Áreas Equivalentes	% de Contenido Óptimo de Asfalto.	Porcentaje
	Desempeño del micropavimento	Prueba de Rueda Cargada **ISSA TB 109**.	kg/m²
		Prueba de Abrasión en Húmedo **ISSA TB 100**.	kg/m²
Trabajar con el criterio de las áreas equivalentes nos brinda la seguridad de evitar problemas de susceptibilidad al ahuellamiento, exudación o desgaste prematuro y pérdida de abrasión; a comparación del criterio de la intersección.	Criterio de las Áreas Equivalentes e Intersección	% de Contenido Óptimo de Asfalto.	Porcentaje
	Problemas de susceptibilidad al ahuellamiento, exudación o desgaste prematuro y pérdida de abrasión		

Fuente: Propia 2016.

1.6. DELIMITACIÓN

Se tomó como modelo el tramo Conococha – Recuay de 22 km, el cual forma parte del proyecto Longitudinal de la Sierra - Tramo 3, que abarca aproximadamente 332 km.

El tramo Conococha – Recuay fue seleccionado para realizar el mantenimiento a lo largo de 22 km utilizando una solución básica de micropavimento, el cual se colocará y contará con un espesor de 10 mm.

El alcance de la investigación comprende la descripción del proyecto, sus características, ubicación, clima, topografía, geología, sismicidad, entre otros; los cuales sirvieron para evaluar el tipo de tratamiento que se le asignará a la carretera.

Se realizará el diseño del micropavimento, en el cual se determinarán las cantidades de sus componentes en porcentajes: emulsión, agregados (arena), aditivos, agua y finos (cemento portland tipo I)

Posteriormente, se ejecutarán los ensayos para el diseño de mezcla, los cuales serán evaluados por la normativa ISSA A143.

Finalmente, se realizará una evaluación del desempeño del micropavimento en el laboratorio, utilizando los dos criterios de diseño: Criterio de la Intersección y Criterio de las Áreas equivalentes, para afinar el contenido óptimo de asfalto en base a ensayos teórico – experimental que miden desempeño.

1.7. DISEÑO METODOLÓGICO

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio, parte de una idea delimitada, se establece objetivos y preguntas de investigación, se explora la literatura y se construye un marco teórico; de las preguntas surgen las hipótesis y se determinan las variables, se diseña un plan para probarlas, se miden las variables en un determinado contexto y se analizan las mediciones obtenidas por medio de métodos estadísticos.[11] Por su parte, el método correlacional, tiene como finalidad conocer la relación existente entre dos o más variables en una muestra o contexto en particular; para evaluar esta relación, se mide cada una de estas variables, y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones, las cuales se sustentan en hipótesis sometidas a prueba.[12] Es por ello que, el método y diseño de la investigación es del tipo correlacional cuantitativa.

La investigación comprenderá la relación entre dos variables, independiente y dependiente, que nos permitirán realizar predicciones en base a una muestra en un contexto específico.

1.7.1. POBLACIÓN Y MUESTRA

- Población: Tramo III Conococha – Recuay, de la carretera Emp. 1N – Conococha – Huaraz - Caraz – Molinopampa. Ubicado en el km 64.
- Muestra: Diseño con el agregado de la cantera Acaray.

[11] Cfr. Hernández 2014: 04

[12] Cfr. Hernández 2014: 93

1.7.2. VARIABLES

Se tiene dos tipos de variables, para la hipótesis general y específica, la dependiente e independiente. A continuación se nombrarán las variables utilizadas.

Variable Independiente General: Selección de criterio de diseño

Variable Dependiente General: Desempeño del Micropavimento

Variables Independientes Secundarias: Ubicación, Clima, agregado – Cantera Acaray, Tránsito vehicular

Variables Dependientes Secundarias: Durabilidad, IRI

1.7.3. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La primera etapa consistió en la estructuración del marco teórico, se reunió la información necesaria y pertinente. Esta información, se recolectará a través de fuentes bibliográficas enfocados al micropavimento; además de buscar opiniones de especialistas y técnicos en el tema, con el fin de desarrollar una investigación *completa*. Las fuentes y normas, serán las siguientes: ISSA A 143, AASHTO, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2013), NCHRP (National Cooperative Highway Research Program), FHWA, Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos y el Manual de Conservaciones Viales, entre otros.

En la etapa de campo, fue necesario estar en contacto con el Consorcio COSAPI-TRANSLEI, encargado de la ejecución del proyecto de conservación vial, quién nos brindó los alcances respectivos. Se realizó, la respectiva visita a obra donde se recolectaron los datos necesarios, para poder realizar los ensayos, que fueron efectuados en el laboratorio del Grupo TDM. La información respecto a los criterios de diseño fueron obtenido de la International Slurry Surfacing Association (ISSA A143), culminada esta fase se pasó a realizar el análisis.

1.8. INDICADORES DE LOGROS

Los indicadores de logros propuestos para esta investigación corresponden a los entregables, capítulos a entregar por semana, el cual estará basado en el cronograma propuesto. El indicador de logro final de esta investigación, con el cual se comprobarán los objetivos de la presente tesis, será la evaluación del desempeño del micropavimento mediante ensayos de desempeño en laboratorio.

Tabla I-3: Indicador de logro final

OBJETIVO GENERAL	INDICADOR DE LOGRO
Demostrar la importancia en la selección del criterio de diseño, que permitirá afinar el óptimo contenido de asfalto, el cual llevará a desarrollar un mejor desempeño del micropavimento, pues minimizará riesgos por déficit o exceso de ligante, en el proyecto vial Conococha – Recuay.	Ensayos teórico - experimental de laboratorio que miden desempeño. Prueba de Rueda Cargada ISSA TB 109 y Prueba de Abrasión en Húmedo ISSA TB 100.

Fuente: Propia 2016.

Tabla I-4: Indicador de logro final.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	INDICADOR DE LOGRO
Describir la situación actual del proyecto vial Conococha – Recuay.	Capítulo 4: Descripción del proyecto
Definir Pavimentos asfálticos y conservación vial.	Capítulo 2: Marco teórico fundamental
Definir Micropavimento y describir los principales criterios de diseño.	Capítulo 3: Tecnología de Micropavimentos y Capítulo 5: Diseño del micropavimento
Evaluar mediante ensayos de laboratorio los agregados, mezclas asfálticas, agua y aditivos (componentes).	Capítulo 5: Diseño del micropavimento
Analizar y comparar los criterios de diseño para obtener el contenido óptimo de asfalto en la mezcla de micropavimento propuesta.	Capítulo 6: Análisis de los resultados
Comprobar y comparar el desempeño del micropavimento mediante los ensayos teórico - experimental de laboratorio.	Capítulo 6: Análisis de los resultados y Conclusiones

Fuente: Propia 2016.

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO FUNDAMENTAL

2.1. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Son un conjunto de capas estructurales que presentan una superficie asfáltica sobre ellas, es decir, presentan una capa de rodadura que protege e incrementa la vida útil de las vías. La capa de rodadura es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o concreto de cemento portland (rígido).[13]

Normalmente, el pavimento está compuesto por una base granular y una sub-base granular, los cuales presentan un diseño de acuerdo con los requerimientos de la norma AASHTO y, pueden dividirse generalmente en pavimento flexible o pavimento rígido. Las capas de rodadura en general se realizan con técnicas en frío, las cuales se caracterizan por no presentar un aporte estructural al pavimento asfáltico. También, existen los tratamientos asfálticos en caliente, los cuales son conocidos como carpetas asfálticas y, presentan un aporte estructural al pavimento para soportar cargas. Es importante señalar que en la presente investigación sólo se consideran los pavimentos flexibles con tratamientos en frío para las capas de rodadura.

2.1.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Son capas estructurales compuestas por material granular y una superficie de rodadura bituminosa. Los pavimentos reciben las cargas de los vehículos y las transfieren de

[13] Cfr. CPA 1983: A6

manera gradual desde la superficie de rodadura a la base granular, hasta llegar al terreno de fundación. [14]

De esta manera, el diseño de los pavimentos tiene como finalidad el cálculo de los espesores de las capas granulares. Para este objetivo, en el Perú normalmente se usa el Método de Diseño de la Guía AASHTO 1993.

El requisito fundamental de la norma para un pavimento flexible se plasma en un Número Estructural Requerido (SNr). A continuación, se presentan los factores que afectan el comportamiento de los pavimentos y en base a ellos se calcula el SNr, los cuales están detallados en el Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos 2014:

1) Tráfico: Representada por medio de Ejes Equivalentes propuestos en norma.

2) Terreno de Fundación: Es la cimentación del pavimento, uno de los factores más importantes a la hora de diseñar las capas estructurales.

3) Servicialidad: Mide el nivel de confort de la carretera.

4) Factor de Confiabilidad: Representa el probable comportamiento de una determinada estructura a lo largo de su periodo de diseño.

Estos factores vienen a formar parte en el cálculo de la ecuación presentada por la norma AASHTO[15], la cual se muestra a continuación:

[14] Cfr. SNIP 2015: 14

[15] Cfr. MTC 2014: 131

Fórmula 2-1: Ecuación General de la Metodología de Diseño AASHTO 1993.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Fuente: AASHTO 1993.

La fórmula 2-1, se desprende del método de la Guía de Diseño AASHTO 1993 y a continuación, se explicarán de manera breve las definiciones de las variables presentadas en la ecuación.

W18: es el número acumulado de Ejes Equivalentes durante el período de diseño.

Módulo de Resiliencia (Mr): mide la rigidez del suelo, la norma AASHTO aplica una correlación entre el ensayo de CBR y el Mr, los resultados obtenidos son en PSI:

Fórmula 2-2: Correlación entre el CBR y el Mr.

$$M_r = 2555 \times CBR^{0.64}$$

Fuente: AASHTO 2002

Desviación Normal Estándar (Zr): representa el nivel de confiabilidad seleccionado en el diseño, para un conjunto de datos de una distribución normal. Los valores se obtendrán de las tablas presentadas en la norma AASHTO o de los cuadros referidos en el Manual de Carreteras: sección suelos y pavimentos, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.[16]

[16] Cfr. MTC 2014: 135

Desviación Estándar Combinada (S_0): representa la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y otros factores que afecten el comportamiento del pavimento como se presentó párrafos antes.[17]

Servicialidad (ΔPSI): es el nivel de comodidad o confort que las vías ofrecen al usuario. Su valor se mide como una diferencia entre la Servicialidad inicial (vía recién construida) y la Servicialidad final (vía al final de su vida útil).[18]

Número Estructural Requerido (SNr): este valor es obtenido al resolver la ecuación de la fórmula 2-1, significa que es el mínimo valor estructural que se debe tener en consideración para realizar el diseño respectivo.[19]

Número Estructural Propuesto (SNp): este valor es obtenido de los espesores de las capas granulares, coeficientes estructurales por capas y coeficientes de drenaje para las capas de base y sub-base.[20]

Finalmente, tomando como base el Número Estructural Requerido (SNr), se diseña los espesores de las capas granulares y se presenta el Número Estructural Propuesto, el cual debe ser mayor o igual al SNr. De esta manera, se determinan los espesores de las capas granulares, las cuales cumplen la función estructural y transmitirán las cargas al terreno de fundación.

---

[17] Cfr. MTC 2014: 136

[18] Cfr. MTC 2014: 139

[19] Cfr. MTC 2014: 140

[20] Cfr. MTC 2014: 140

2.1.2. CAPA DE RODADURA ASFÁLTICA

Conocidos como capas asfálticas, son tratamientos que se le incorporan a los pavimentos con la finalidad de protegerlos, disponer de una superficie con adecuada textura para el tráfico de vehículos e impermeabilizar la superficie a lo largo de la carretera o sector donde se construya el pavimento asfáltico. Además, se debe tener en cuenta la pendiente necesaria para evacuar el agua hacia las cunetas y así poder garantizar un adecuado drenaje de las mismas.[21]

Las capas de rodadura se pueden dividir en dos grandes grupos: los tratamientos asfálticos en caliente y los tratamientos asfalticos en frío. Los tratamientos asfálticos en caliente son conocidos como carpetas asfálticas y, se caracterizan por aportar resistencia estructural a las capas del pavimento. Para lograr la puesta en obra, los cementos asfálticos se deben calentar a temperaturas muy superiores a la del ambiente, lo cual encarece los costos y, genera mayor daño al ambiente.[22]

En el presente proyecto de investigación, se analiza las mezclas asfálticas en frío, los cuales, por lo general, son convenientes para tráfico ligero y mediano. Las mezclas en frío reducen los costos de construcción, ya que no se necesita ser llevado a grandes temperaturas como las mezclas en caliente.

Las capas asfálticas en frío están constituidas por una mezcla de: emulsión asfáltica, agregados pétreos, agua, aditivos, emulsificantes y finos; los cuales se mezclan y se vierten sobre la superficie compactada. Su aplicación tiene como objetivo principal, alargar la vida del pavimento, pues permitirá impermeabilizarlo para evitar problemas de filtración.[23]

---

[21] Cfr. CPA 1983: A6

[22] Cfr. SNIP 2015: 61

[23] Cfr. SNIP 2015: 61

Finalmente, se debe señalar que estos tratamientos en frío no trabajan estructuralmente; es decir, no aportan resistencia ante las cargas por el paso de los vehículos. Actualmente, los tratamientos superficiales son los más usados y dentro de esta clasificación se encuentra también el micropavimento.

2.1.2.1. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El tratamiento asfáltico de superficie es un término amplio que engloba varios tipos de aplicaciones con asfalto y asfalto–agregado, usualmente de menos de 25 mm de espesor y aplicado a cualquier tipo de superficie de pavimento.[24]

Las superficies asfálticas donde se pueden aplicar los tratamientos son de base granular imprimada, un asfalto existente o un pavimento de concreto de cemento portland. Los tratamientos superficiales aplicados a un pavimento existente, son a menudos llamados riego de sellados. Dentro de estas se mencionan las siguientes:

2.1.2.1.1. TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA:

Implica el riego con la emulsión asfáltica y el inmediato extendido y rodillado de una fina capa de agregado con tamaño aproximadamente uniforme; se usa principalmente como sello para reparar la superficie deteriorada de los pavimentos antiguos y su espesor generalmente es menor a 25 mm.[25]

2.1.2.1.2. TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA:

Se empieza colocando un agregado de gran tamaño, luego se riega con la emulsión asfáltica (normalmente modificada con polímeros) e inmediatamente se aplica un agregado de menor tamaño que cierra el sellado. Se usan generalmente en caminos con volúmenes de tránsito medianos a ligeros. Si se siguen haciendo una aplicación más de forma alternada y sucesiva de emulsión asfáltica y agregados pétreos, pueden llegar a

[24] Cfr. CPA 1983: H5

[25] Cfr. FIRP 2008: 20

ser tratamiento tricapa. El espesor máximo de estos tratamientos es de aproximadamente una pulgada o 25 mm.[26]

2.1.2.1.3. CAPE SEAL:

Es un tratamiento superficial simple, seguido de una lechada asfáltica (Slurry Seal) o de un Micropavimento (Microsurfacing), para así llenar los vacíos dejados entre los agregados de gran tamaño. Presentan un tratamiento superficial de alta durabilidad. La lechada asfáltica liga los agregados gruesos para prevenir pérdidas y los agregados previenen la excesiva abrasión por parte del tráfico y la erosión de la lechada.[27]

2.1.2.1.4. LECHADA ASFÁLTICA (SLURRY SEAL):

Es una mezcla de agregados de granulometría cerrada, emulsión asfáltica, aditivos y agua, mezclados con el uso de un emulsificante. La lechada asfáltica es una técnica de mantenimiento muy efectiva para superficies de pavimentos nuevos o ya existentes. La lechada llenará las fisuras superficiales, detendrá el desprendimiento de agregados y pérdida de matriz, mejorará la resistencia al deslizamiento y en general protegerá al pavimento. Por tanto, reducirá el deterioro por oxidación y agua y así prolongará globalmente la vida útil del pavimento. Su espesor típico se encuentra en el rango de 3 mm a 14 mm.[28]

2.1.2.1.5. MICROPAVIMENTO (MICROSURFACING):

Es un sistema de pavimentación superficial compuesta por emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregado cien por ciento triturado (arena), finos minerales (generalmente filler o cemento portland tipo I), agua y aditivos emulsificantes según sea el necesario. Es una técnica moderna de tratamientos superficiales y se pueden usar

[26] Cfr. FIRP 2008: 20

[27] Cfr. AEMA 1999: 40

[28] Cfr. FIRP 2008: 22

generalmente en procedimientos preventivos o correctivos de la superficie del pavimento.[29]

Un tratamiento de superficie no es en sí mismo un pavimento, es principalmente una técnica de mantenimiento y rehabilitación económicamente efectiva para prolongar la vida y durabilidad del pavimento; resisten a la abrasión del tráfico y provee impermeabilización para la estructura inferior (pavimento y terreno de fundación).[30]

2.1.2.2. EMULSIÓN ASFÁLTICA

Es la combinación de tres ingredientes básicos: asfalto, agua y agente emulsivo; en otras ocasiones contiene otros aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia o agentes de control de rotura.[31]

La emulsión asfáltica consta de dos fases: rotura y curado. La rotura consiste en la separación del agua y el cemento asfáltico; mientras que, en el curado, el agua se evapora y el residuo asfáltico (cemento asfáltico) conserva toda la capacidad adhesiva, la durabilidad, y la resistencia al agua propias del cemento asfaltico con el cual fue elaborado.[32] El objetivo es lograr que todas las partículas de cemento asfáltico sean envueltas en agua, para que posteriormente, la emulsión "rompa" rápidamente tras entrar en contacto con el agregado en un mezclador.[33]

Las propiedades de la emulsión asfáltica dependen considerablemente de un producto químico denominado emulsificante, el cual determina que la emulsión sea clasificada

---

[29] Cfr. FHWA 1994: 03

[30] Cfr. FHWA 1994: 04

[31] Cfr. AEMA 1999: 05

[32] Cfr. AEMA 1999: 05

[33] Cfr. AEMA 1999: 05

como catiónica, aniónica o no-iónica.[34] El emulsificante mantiene las partículas de asfalto en suspensión estable y permite en el tiempo apropiado; a medida que se incrementa el emulsificante, aumenta el tiempo de rompimiento.[35]

2.1.2.2.1. CLASIFICACIÓN

Las emulsiones asfálticas también se clasifican, según la tasa de sedimentación, que mide la rapidez con la que se rompe la emulsión por evaporación del agua, con qué rapidez es afectada por el tipo y concentración de emulsificante, y las condiciones atmosféricas. [36] A continuación, se muestran los tipos de clasificación de las emulsiones.

1. Rotura Rápida (CRS)

Se caracteriza por la rápida interacción entre el agregado y la emulsión, revirtiendo la emulsión a asfalto, lo que produce películas resistentes que tienen altas viscosidades, las cuales sirven para prevenir el escurrimiento; estas propiedades la hacen ideal para aplicaciones de rociado, tales como en bacheos, sellos arenosos y tratamientos superficiales. [37]

2. Rotura Media (CMS)

Están diseñadas para ser mezcladas con agregados, ya sea en frío o en caliente, se caracterizan porque no se rompen de manera inmediata al contacto con el agregado;

[34] Cfr. AEMA 1999: 05

[35] Cfr. AEMA 1999: 05

[36] Cfr. FIRP 2008: 08

[37] Cfr. FIRP 2008: 08

este tipo de emulsiones han sido usadas en reciclado de pavimentos y en mezclas en frío en plantas centrales.[38]

3. Rotura Lenta (CSS)

Se diseñan para un tiempo máximo de mezcla con los agregados, la cual asegura buen cubrimiento con grados densos, de agregados con un alto contenido de finos; estas emulsiones incluyen bases de grado denso y bases para estabilización.[39]

4. Rotura Controlada (CQS)

Esta emulsión se diseña específicamente para aplicaciones en las que se necesita un rápido tiempo de curado; emulsión de alta reactividad la cual puede ser mezclada con agregados reactivos y es ideal para vía que requieren apertura rápida de tráfico.[40]

2.1.2.3. POLÍMERO

Es el conjunto de sustancias de gran peso molecular conformado por la unión de miles de moléculas denominadas monómeros; formándose así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.[41]

La adición de polímeros típicamente incrementa la rigidez del asfalto y mejora su susceptibilidad a cambios de temperatura. Incrementa la resistencia a ahuellamientos en climas cálidos y permite el uso de bases de cemento asfáltico, que a la vez, provee un mejor comportamiento en bajas temperaturas. Los polímeros pueden ser adicionados en la solución con el emulsificante, o bien pueden ser mezclados con el

[38] Cfr. FIRP 2008: 08

[39] Cfr. FIRP 2008: 13

[40] Cfr. BITUPER 2015

[41] Cfr. Wulf 2008: 23

cemento asfáltico base, ya sea en la refinería o en la planta de emulsión pero siempre antes de la emulsificación.[42]

Los polímeros utilizados son la goma de látex natural, styrene-butediene-rubber (SBR), styrene-butadiene-styrene (SBS) y ethylene-vinyl-acetate (EVA) también son usados.[43]

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

1. Polímero tipo I

Se define como modificador de asfaltos, se encarga de mejorar el comportamiento de la mezcla asfáltica para altas y bajas temperaturas; es fabricado mediante configuraciones Estireno-Butadieno (SB) o Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) y, se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y vehículos pesados.[44]

2. Polímero tipo II

Modificador de asfaltos que mejora comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas; es utilizado para mejorar el comportamiento de servicio, en climas fríos, y templados, así como para la elaboración de emulsiones para tratamientos superficiales.[45]

3. Polímero tipo III

Mejora la resistencia a las roderas de mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfaltico a la temperatura y presenta un buen comportamiento a altas temperaturas; es utilizado para pavimentos que están encargados de soportar altos

---

[42] Cfr. FHWA 1994 :14

[43] Cfr. FHWA 1994 :14

[44] Cfr. WULF 2008 :23

[45] Cfr. WULF 2008 :24

índices de tránsito, así como la elaboración de mezclas para tratamientos superficiales.[46]

4. Hule molido de neumáticos

Es el encargado de mejorar la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas y reduce la aparición de grietas por cambio de temperatura o fatiga; es utilizado en carpetas delgadas.[47]

2.2. CONSERVACIÓN VIAL

La gestión vial surge con la necesidad, de mejorar y lograr razonables niveles de transitabilidad y servicio en los tres tipos de redes viales existentes en el país: nacional, departamental y vecinal. [48]

2.2.1. CONTEXTO

Ante la necesidad de una mejora en la gestión vial, en el año 2007, se crea un programa de conservación y desarrollo de infraestructura vial, el cual implementa un cambio en el sistema de gestión vial denominado el "Proyecto Perú".[49] El concepto de gestión vial abarca los siguientes sectores: la construcción, rehabilitación, mejoramiento, conservación, relevamiento de información, operación de la red vial y atención de emergencias viales; este nuevo sistema pretende dar un mayor énfasis a la conservación vial, pues las rehabilitaciones resultan ser muy costosas para el estado.[50]

---

[46] Cfr. WULF 2008 :24

[47] Cfr. WULF 2008:22-23

[48] Cfr. PROVIAS 2014

[49] Cfr. PROVIAS 2014

[50] Cfr. PROVIAS 2014

Este tipo de contratación resulta nuevo y todo un emprendimiento, pues busca desarrollar económicamente e integrar al país por medio de la recuperación y puesta en valor de la actual red vial.[51] Para ello se basa en seis directrices fundamentales según Provías:

- Corredores económicos viales (300 – 400 km).
- Contratos de cinco años.
- Terceriza la gestión y conservación vial.
- Existe un nuevo concepto de niveles de servicio, resultados o estándares de calidad.
- El posible uso de nuevas tecnologías.
- Construcción de pavimentos ecológicos.

De esta manera, Proyecto Perú, permite un crecimiento gradual en las carreteras, ya sea por sus necesidades o según el aumento del tráfico, y se hace uso racional de los recursos del Estado.[52]

2.2.2. DEFINICIÓN

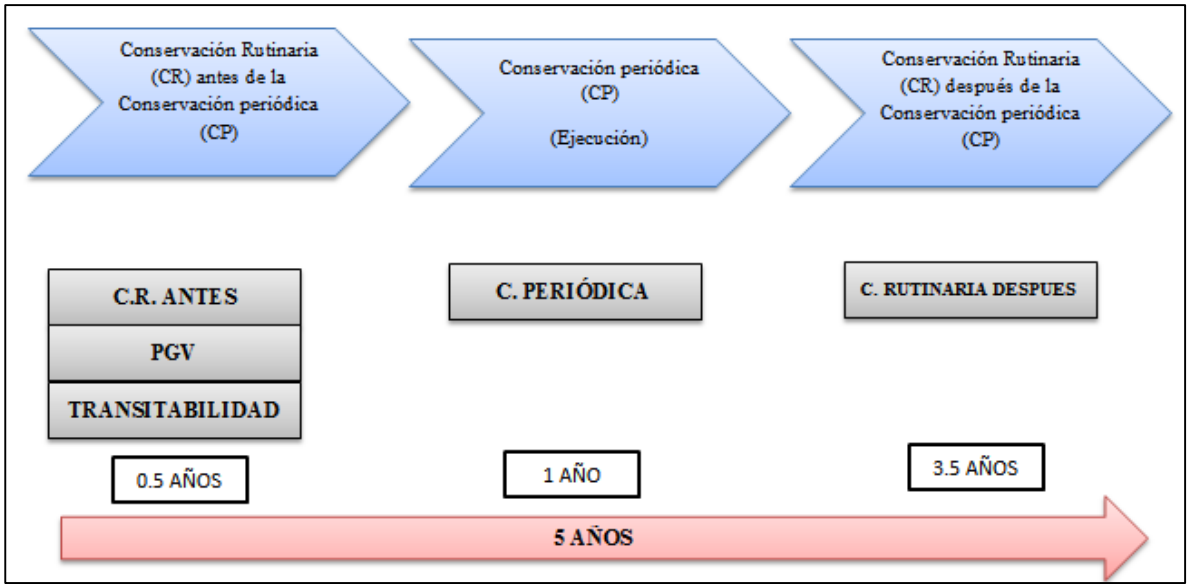
La conservación vial se define como el tipo de contratación, que engloba el conjunto de actividades propuestas a la preservación continua y duradera de la infraestructura vial; de manera que garantice un servicio óptimo al usuario vial.[53]. A continuación, en la Figura 2 - 1, se mostrará los componentes que generalmente forman parte en la etapa de un contrato de conservación vial.

[51] Cfr. PROVIAS 2014

[52] Cfr. PROVIAS 2014

[53] Cfr. MTC 2013:1-C1 13

Figura 2 - 1: Etapas del contrato de conservación vial.



Fuente: Lazo, Guillermo, Conservaciones viales 2015.

En la figura 2-1, se observa que un contrato de conservación vial consta de tres etapas, la conservación rutinaria, que incluye el mantenimiento rutinario inicial, el programa de gestión vial y transitabilidad, que tienen como objetivo conservar los niveles de servicio; por lo general, estas actividades tienen una duración de medio año.[54] La etapa continúa con la Conservación Periódica, que se realizan cada cierto periodo para recuperar las condiciones de servicio, su duración es de un año. [55] Finalmente, se realiza un mantenimiento rutinario después del mantenimiento periódico, con una duración, para completar el plazo del contrato, de tres años y medio. Los términos de mantenimiento rutinario y periódico serán definidos en las secciones 2.2.3 y 2.2.4,

[54] Cfr. MTC 2013:1-C1 12

[55] Cfr. MTC 2013:1-C1 12

mientras que, los términos de programa de gestión vial, transitabilidad se explicarán a continuación.

Programa de gestión vial (PGV)

Este programa consta de los siguientes componentes.

- Plan de conservación vial: deberá considerar intervenciones tecnológicas a emplear, verificación de rugosidad (IRI) y deflectometría.[56]
- Plan de manejo socio-ambiental: describe las estrategias de regulación y prevención ambiental para la ejecución de las actividades.[57]
- Plan de atención de emergencias viales: Tiene como objetivo dar capacidad operativa de emergencia frente a la posibilidad de la ocurrencia de eventos imprevisibles.[58]
- Relevamiento de la información: se realiza las siguientes actividades, inventario vial calificado, estudio de tráfico y el registro video gráfico georreferenciado.[59]
- Plan de calidad para la ejecución de servicios: se encuentran las especificaciones técnicas, mapas de procesos y cumplimiento del ISO 9001.[60]

[56] Cfr. LAZO 2015: 9

[57] Cfr. LAZO 2015: 9

[58] Cfr. MTC 2013:1-C2 21

[59] Cfr. LAZO 2015: 9

[60] Cfr. LAZO 2015: 9

- Plan de contingencias: propone las medidas y procedimientos que deberá seguirse para situaciones no previstas.[61]
- Plan de identificación de derecho de vía.

Transitabilidad:

Característica que permite el tráfico continúo y seguro de los vehículos; su parámetro de medición es el IRI (m/km).[62]

2.2.3. CONSERVACIÓN RUTINARIA

Se define como el conjunto de actividades que se ejecutarán dentro del presupuesto anual, las necesarias para cuidar la seguridad del camino y preservar los componentes de la infraestructura vial.[63]Es decir, un camino no debe operar en condiciones de inseguridad para el usuario, por ejemplo, en carreteras pavimentadas, es importante eliminar baches, deterioros o pérdidas de guardavías; con este tipo de actividades la vía deberá operar y mantenerse dentro de los rangos de operación cómodos y seguros.[64]

2.2.4. CONSERVACIÓN PERIÓDICA

Está referida al conjunto de actividades programadas cada cierto período que se realizan en las vías para recuperar sus condiciones de servicio.[65] Las actividades están referidas a reponer las capas de rodadura, colocar capas nivelantes y sello, reparar o

[61] Cfr. LAZO 2015: 9

[62] Cfr. LAZO 2015: 9

[63] Cfr. MTC 2013: 1-C2 18

[64] Cfr. MTC 2013: 1-C2 18

[65] Cfr. MTC 2013: 1-C1 12

reconstruir puntualmente las capas inferiores del pavimento, instalar elementos de seguridad vial y señalización.[66] Estas deberán ejecutarse manteniendo el mismo trazo de la carretera actual, para poder ser considerada presupuestalmente como conservación vial.[67]

2.2.5. CONTRATO DE CONSERVACIÓN VIAL COMPLEMENTARIO

El programa de conservación vial del contrato complementario del proyecto incluyen las actividades a realizar, las cuales tendrán el siguiente alcance, constará de dos fases: pre-operativa y operativa. A continuación se indican los procesos y procedimientos técnicos.

1. Fase pre-operativa:

En esta fase intervendrán las siguientes actividades

- Plan de Conservación Vial Rutinario y Periódico.
- Plan de Manejo Socio Ambiental.
- Relevamiento de Información e Inventario Vial Calificado.
- Estudio de Trafico.
- Plan de Calidad

2. Fase Operativa

- Conservación Rutinaria
- Conservación Periódica
- Atención de Emergencias viales hasta garantizar la transitabilidad

---

[66] Cfr. MTC 2013: 1-C2 12

[67] Cfr. MTC 2013: 1-C2 19

- Relevamiento de Información e Inventario Vial Calificado.
- Estudio de Trafico.
- Implementación y puesta en marcha del Plan de manejo socio ambiental
- Elaboración de los Informes Mensuales e Informes Finales del proyecto.

CAPÍTULO III : TECNOLOGÍA DE MICROPAVIMENTOS

3.1. DEFINICIÓN

El micropavimento es una técnica de pavimentación superficial con la particularidad de lograr una apertura rápida al tráfico debido al uso de emulsiones de rotura controlada.[68] Está compuesto por una emulsión catiónica modificada con polímeros, agregados cien por ciento chancados, agua, finos minerales y aditivos emulsificantes de control de ruptura. El objetivo del uso de polímeros es reducir la susceptibilidad ante cambios de temperatura, lo cual genera mayores rendimientos que el mortero asfáltico (Slurry Seal).[69]

A comparación del asfalto en caliente, que se trabaja en condiciones de altas temperaturas (150 °C) y que endurece conforme va enfriando la mezcla, el micropavimento es mezclado y aplicado a temperatura ambiente; la emulsión modificada rompe y endurece a través de un proceso electroquímico debido a la exudación y pérdida de agua del sistema.[70]

De acuerdo con la norma ISSA, los micropavimentos son superiores a los morteros asfálticos (Slurry Seal), ya que presentan mayor estabilidad, pueden alcanzar mayores espesores y la susceptibilidad térmica es mayor.[71] Básicamente, el micropavimento es

[68] Cfr. Barrionuevo 2012: 6

[69] Cfr. Barrionuevo 2012: 5

[70] Cfr. FHWA 1994: 6

[71] Cfr. Barrionuevo 2012: 2

un tipo de mortero asfáltico con un ligante modificado por polímeros elastoméricos tipo I, los cuales están conformados en base a bloques de estireno (SBS, SBR), estos presentan una mayor respuesta elástica. Sin embargo, en algunas ocasiones, se suelen usar plastómeros (EVA, PVC), los cuales rigidizan el asfalto y pierden su capacidad elástica. El uso de los micropavimentos radica tanto en la conservación, prevención y rehabilitación de las superficies del pavimento; es un proceso altamente especializado, donde el contratista y el proveedor de la emulsión son los que aseguran una adecuada construcción.[72]

Finalmente, el éxito de los micropavimentos se basa en tres directrices fundamentales para lograr la máxima eficiencia y encontrar resultados satisfactorios:

Materiales de alta calidad: se refiere a los componentes del micropavimento, los cuales deben ser de alta calidad y presentar características especificadas en la norma ISSA.[73] Además, debe existir afinidad entre la emulsión, el polímero y el árido (material de cantera) para que la mezcla final obtenga buenos resultados y de esa manera poder pasar la prueba de compatibilidad estipulado en la Norma ISSA TB144.[74] En caso de no existir dicha afinidad, es de esperarse que todo el proyecto salga deficiente, por lo que es preferible cambiar de cantera o buscar otras alternativas de solución.

Diseño competente: Se debe realizar un adecuado diseño de los componentes del micropavimento y evaluar en base a ensayos de laboratorios que reflejan el desempeño de la muestra si los requisitos de la norma ISSA A143 (Recommended Performance Guideline For Micro Surfacing) se cumplan. Se debe tener en cuenta que, la manera de hallar el contenido de asfalto óptimo de acuerdo a la norma ISSA fue cambiando de

[72] Cfr. NCHRP 2010: 1

[73] Cfr. FHWA 1994: 10

[74] Cfr. FHWA 1994: 25

acuerdo a los estudios y avances realizados. En este trabajo de investigación se realizará una comparación entre los dos criterios presentadas por la norma en el diseño del micropavimento.

Procedimientos constructivos: La superficie donde será aplicada la capa de micropavimento debe estar limpia y preparada cuidadosamente utilizando algún método de limpieza estándar.[75] Una vez que los micropavimentos son mezclados inicia el proceso de ruptura, el colocado sobre la vía se debe realizar antes de que termine dicho proceso; la terminación del proceso de ruptura se evidencia cuando la mezcla cambia su coloración de un color café a negro en cuestión de minutos.[76] Por este motivo, se debe planificar un adecuado tren de trabajo para lograr un óptimo rendimiento y resultados esperados de acuerdo a los diseños de laboratorio.[77]

3.2. COMPONENTES O INSUMOS

3.2.1. EMULSIÓN ASFÁLTICA

La emulsión catiónica de rotura controlada modificada con polímeros es la utilizada en las mezclas de micropavimento.[78] Este tipo de emulsión, le permite poseer un mejor comportamiento frente a la susceptibilidad térmica; presenta rigidez a pesar de temperaturas altas, mientras que, a bajas aumenta su elasticidad aportando mejores características y una mayor durabilidad.[79]

---

[75] Cfr. Barrionuevo 2012: 131

[76] Cfr. Barrionuevo 2012: 131

[77] Cfr. Barrionuevo 2012: 131

[78] Cfr. FHWA 1994:12

[79] Cfr. BITUPER 2013

De acuerdo con la norma ISSA, las emulsiones modificadas deberán cumplir con los requerimientos de los siguientes ensayos:

- Viscosidad Saybolt Furol

Este ensayo permite determinar la viscosidad Saybolt Furol de productos en asfalto líquido a temperaturas específicas entre los 21°C y 99° C.[80]

- Prueba del tamiz

Este ensayo sirve para determinar la cantidad de producto asfáltico mal emulsionado que exista en la emulsión; la norma exige que este ensayo arroje resultados menores de 0.1 %.[81]

- Carga de partícula

El ensayo se basa en la diferente carga eléctrica, negativa o positiva, que se encuentran en las partículas bituminosas de las emulsiones catiónicas o aniónicas.[82]

- Prueba de Ph

El ensayo se encarga de medir el pH existente en la fase acuosa de las emulsiones elaboradas con cemento asfáltico o asfalto líquido (con disolventes). [83]

Del mismo modo, también se realizan pruebas para el residuo asfáltico.

- Viscosidad absoluta, 60 °C

---

[80] Cfr. MTC E 309 2000: 01

[81] Cfr. MTC E 405 2000: 01

[82] Cfr. MTC E 407 2000: 01

[83] Cfr. MTC E 408 2000 :01

- Penetración, 100 gm/ 5seg @ 25 °C
- Punto de ablandamiento
- Ductilidad @ 25 ° C, 5 cm/min. Cm
- Contenido de polímeros en el residuo

A continuación, en la Tabla III-1 se observa las exigencias para cada una de las pruebas que deben realizarse tanto para la emulsión asfáltica como el residuo asfáltico.

Tabla III–1: Requerimientos para las emulsiones modificados con polímeros.

Ensayo	Norma	Exigencia
Viscosidad Saybolt Furol (25 °C) (sSf)	MTC E 403	20 - 100
Sedimentación (7 días)	MTC E 404	5 % máx.
Prueba de Tamiz	MTC E 405	0.1 % máx.
Carga de partícula	MTC E 406	Positiva/Negativa
Determinación de residuo asfáltico	MTC E 411	62 % min.
Prueba sobre residuo de evaporación		
Penetración	MTC E 304	50*-90* / 100-150
Ductilidad 5°C	MTC E 306	≥ 10 cm
Índice de Fraass	MTC E 311	-17ºC máx.
Recuperación elástica, 25 °C, 20 cm, 1h	ASTM D6084	30% mín.

Fuente: MTC 2013.

En la Tabla III-1, se observa los ensayos y las exigencias establecidas por el EG, que se realizan para la emulsión y el residuo asfáltico. De esta manera, se comprobará su viabilidad en el uso del micropavimentos. [84].

[84] Cfr. FHWA 1994:12

3.2.2. POLÍMERO

Los polímeros utilizados en micropavimentos son del tipo I, los cuales están conformados por bloques de estireno (SBS, SBR), estos benefician al mejoramiento del comportamiento característico de la mezcla que contribuirá el polímero será evidente en las pruebas de mezcla y residuo asfáltico; la cantidad de polímeros sólidos está generalmente en un rango del 3 al 4% del contenido del residuo asfáltico en peso.[85]

3.2.3. AGREGADOS

Los agregados sin incluir los finos minerales componen entre el 82 % y el 90 % del peso de micropavimentos, los cuales deben estar triturados, limpios, duros y libres de químicos, arcillas y otras materias que puedan afectar su adherencia mezclado y colocación. [86] El tipo de granulometría y número de capas a utilizar será el establecido en el Proyecto. A continuación, se muestra en la Tabla III-2, la granulometría exigida por el ISSA requisitos a cumplir de la Tabla III-2; mientras que en la Tabla III-3, se muestra la granulometría exigida por el EG:

[85] Cfr. FHWA 1994:14

[86] Cfr. FHWA 1994:08

Tabla III-2: Granulometría de los agregados pétreos para micropavimentos en frío de acuerdo al ISSA.

TIPO DE GRADACIÓN		TIPO II
TAMAÑO DE MALLA	PORCENTAJE QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA
9.5 mm. (3/8")	100	100
4.75 mm. (N° 4)	90-100	70-90
2.36 mm. (N° 8)	65-90	45-70
1.18 mm. (N° 16)	45-70	28-50
600 µm. (N° 30)	30-50	19-34
300 µm. (N° 50)	18-30	12-25
150 µm. (N° 100)	10-21	7-18
75 µm. (N° 200)	5-15	5-15
Asfalto residual con base al % del peso seco del agregado	5.5-9.5	5.5-9.5
Tasa de aplicación (Kg/m2), Base peso seco agregado	5.4-9.1	8.2-13.6

Fuente: ISSA 2010.

Tabla III-3: Granulometría de los agregados pétreos para micropavimentos en frío de acuerdo al EG.

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	(3/8")		100	100	85 - 98
5	(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
0.31	(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

Fuente: MTC 2013.

En las tablas III-2 y III-3, se clasifican el tipo de gradación de acuerdo al material pasante, debido a que, el tipo de granulometría se escoge en el proyecto según las exigencias y condiciones presentadas; es muy importante la elección de la cantera. La diferencia entre material pasante entre ambas tablas, es consecuencia de los diversos factores geográficos que presentan Estados unidos y Perú. Asimismo, la normativa peruana, los clasifica en tipo I, II, III, IV; mientras que el ISSA A143, considera solo el tipo I y II. Sin embargo, de acuerdo a entrevistas con los especialistas en micropavimentos, lo más recomendable es utilizar los estándares internacionales. Los requisitos mínimos para un agregado se muestran a continuación:

Tabla III-4: Requerimientos de los agregados pétreos.

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	Máx. 60 %
Azul de metileno	AASHTO TP 57	Máx. 8
Adherencia Riedel-Weber	MTC E 220	Máx. 4°
Adherencia Método Estático	ASTM D 1664	Mín. 95 %

Fuente: MTC 2013.

En la tabla III-4, se muestran los ensayos establecidos por la normativa y la máxima exigencia tolerable. El material debe ser de alta calidad y, el cumplimiento de estas exigencias le permitirá un mejor comportamiento frente a las pruebas de mezclado posteriores.

3.2.4. FINOS MINERALES

Tienen como función principal, disminuir la segregación de los agregados y la incrementación o reducción del sistema con el cual la mezcla alcanza su rompimiento

y su separación.[87] El ensayo de granulometría para los finos minerales es especificado por AASHTO T37. A continuación, se define el ensayo granulométrico.

Análisis granulométrico del relleno mineral

Tiene como objetivo realizar el análisis granulométrico del relleno mineral que es usado como material de construcción, en mezclas para bases y pavimentos, asimismo, es usado como relleno en las mezclas bituminosas.[88]

A continuación, en la tabla III-5 presentamos la granulometría del filler recomendada de acuerdo a la norma peruana.

Tabla III-5: Granulometría del filler.

Tamices		% Que pasa en peso
(mm)	(ASTM)	
0.63	N° 30	100
0.315	N° 50	95 - 100
0.08	N ° 200	70 - 100

Fuente: MTC 2013.

3.2.5. AGUA

Es el medio utilizado para mezclar los componentes del micropavimento y es el principal factor en la determinación de la consistencia. Es introducida de tres maneras en la mezcla del micropavimento: primero como la humedad contenida en los agregados, segundo como uno de los dos mayores constituyentes en la emulsión asfáltica y, tercero como el agua para el mezclado.[89] Dependiendo de la condición del

[87] Cfr. FHWA 1994:10

[88] Cfr. MTC E 216 2000:01

[89] Cfr. FHWA 1994: 13

agua y de la absorción de los agregados, las mezclas de los micropavimentos típicamente presentan un contenido de agua en un rango del 4 - 12 % con respecto al peso seco del agregado; en climas fríos la cantidad de agua es menor y en los lugares de climas cálidos el contenido de agua en la mezcla es mayor.[90]

Cualquier agua potable puede ser usada en las mezclas de micropavimentos, por lo cual normalmente no es tan importante realizar ensayos de calidad del agua. Sin embargo, cuando la calidad del agua es puesta en duda debido a su procedencia o algún factor encontrado, deberá ser ensayado en laboratorio para determinar su influencia en el diseño de la mezcla. [91]

De acuerdo con la norma NTP 339.073, el pH del agua debe estar comprendido entre 5.5 y 8.0; el contenido de sulfato según norma NTP 339.074 no podrá ser superior a 3.000 ppm. Pero como ya se mencionó, se considera adecuado el uso de agua potable en el diseño de la mezcla, sin necesidad de realizar ensayos de laboratorio.[92]

3.2.6. ADITIVO DE CONTROL DE CAMPO

Es un producto que cumple la función de retardar o acelerar el tiempo de rompimiento de la mezcla de micropavimento, generalmente es usado para retardarlo. El emulsificante también es considerado como un aditivo, y su función es la de mejorar la adherencia de la emulsión con el agregado y con la superficie donde se aplica la mezcla; la cantidad de aditivo recomendable varía entre 0 a 2 % del volumen de la emulsión.[93]

---

[90] Cfr. FHWA 1994: 13

[91] Cfr. FHWA 1994: 13

[92] Cfr. MTC 2013: 533

[93] Cfr. FHWA 1994: 14

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

Es el primer paso para iniciar el diseño de una mezcla en frío, en este caso específico para diseñar un micropavimento.

Caracterizar el agregado quiere decir que se van a determinar las propiedades geotécnicas del agregado fino cien por ciento chancado, que son necesarios para diseñar el micropavimento y determinar la cantidad de emulsión óptima a usar en determinado proyecto, para una determinada cantera, con un agregado determinado.

Se debe tener en consideración que el micropavimento depende principalmente de la relación y compatibilidad entre la emulsión de rotura controlada con el agregado fino, ya que el agregado representa más del 80 % del peso de micropavimento.[94]

Los ensayos de laboratorio mínimos a realizarse para el diseño e micropavimentos son los siguientes.

3.3.1. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Este ensayo permite realizar la caracterización granulométrica del agregado para determinar su composición de acuerdo a los tamaños del agregado. De acuerdo a la norma ISSA, el tipo de agregado para los micropavimentos se divide en tipo II y tipo III. Generalmente en el Perú se suele usar el agregado para micropavimento Tipo III, ya que sus características permiten soportar un tráfico alto y debido a su tamaño el ligante puede cubrir y adherir mejor al árido.[95]

[94] Cfr. FHWA 1994: 08

[95] Cfr. ISSA A143 2010: 04

3.3.1.1. EQUIVALENTE DE ARENA

El ensayo de equivalente de arena permite determinar la cantidad de material arcilloso o nocivo para la mezcla, de acuerdo con la norma ISSA, el valor mínimo recomendado de arena es del 65 %.[96]

3.3.1.2. AZUL DE METILENO

El ensayo de azul de metileno consiste en reaccionar un gramo de arena fina de la arena para el micropavimento con cantidades constantes de 5 miligramos de azul de metileno mezclados constantemente a cada intervalo de tiempo (2min). El resultado final muestra la reactividad del agregado, lo cual sirve como referencia para determinar el uso de aditivos o variar algún componente que pueda reaccionar de forma nociva con la mezcla de micropavimento.[97]

3.3.1.3. PESO UNITARIO

Determina el peso específico seco del agregado, es un ensayo bastante simple y conocido en la mecánica de suelos.

3.4. MEZCLA ASFÁLTICA

Es la combinación de un árido con un ligante asfáltico, que en una capa continua, envuelve a cada una de las partículas minerales del árido; esta mezcla es usada en pavimentos flexibles de alta calidad, tanto para bases asfálticas o como carpetas de rodamiento. [98]

---

[96] Cfr. ISSA A143 2010: 03

[97] Cfr. ISSA A143 2010: 03

[98] Cfr. FIRP 2008: 23

3.4.1. CONTROL DE DESEMPEÑO

La mezcla del micropavimento para el rendimiento apropiado también depende de la buena calidad de los materiales. Es por ello, que las pruebas a las mezclas son muy importantes para la evaluación del micropavimento y la determinación de la cantidad óptima de asfalto.[99]

3.4.1.1. PRUEBA DE COHESIÓN (ISSA TB 139)

Sirve para la clasificación de los micropavimentos según su tiempo de rompimiento y apertura al tráfico.[100] Esta prueba, consiste en la simulación del giro torsional del neumático de un vehículo, esta mide cuánto es el valor del torque para desintegrar una muestra de mezcla, de 6-8 mm de grosor por 60 cm de diámetro bajo la acción de un vástago neumático con una almohadilla de caucho de 32 mm de diámetro a una presión de 25 lb/ft²; en intervalos de tiempo de 20, 30, 60, 90, 150, 210 y 270 minutos después del desmoldado.[101] A continuación en la figura 3-1, se presenta el equipo utilizado.

[99] Cfr. FHWA 1994: 15

[100] Cfr. FHWA 1994: 16

[101] Cfr. FHWA 1994 : 16

Figura 3-1: Equipo para prueba de cohesión.



Fuente: Propia 2016.

En la figura 3-1, se muestra el equipo que se usa para el ensayo de cohesión. El torque mínimo necesario para un intervalo de 20 a 30 minutos es de 12 kg-cm, este sistema es conocido como "rompimiento rápido". Mientras que, para los primeros 60 minutos se obtiene un torque de 20 kg-cm, se le conoce como un sistema de apertura rápida al tráfico, lo que infiere que se ha producido suficiente cohesión para permitir la circulación de tráfico. Todos los micropavimentos son diseñados como sistemas de apertura rápida al tráfico.[102]

[102] Cfr. FHWA 1994 : 16

3.4.1.2. PRUEBA DE ABRASIÓN EN HÚMEDO (ISSA TB 100)

Tiene como objetivo determinar la resistencia a la abrasión de mezclas de micropavimentos en función al contenido de asfalto.[103] La prueba consiste en simulación de un vehículo circulando en una curva y frenando a condiciones de abrasión en pavimentos mojados.[104] La prueba consiste en sumergir una muestra curada en agua a una temperatura de 25 °C, la cual permanecerá saturada por periodos de 1 hora y 6 días, finalmente es sometida a la acción de abrasión y torsión de una manguera de caucho con un peso de 2.3 Kg durante un periodo de 5 minutos; la muestra tendrá las siguientes dimensiones: 6 mm de espesor por 280 mm de diámetro.[105] A continuación en la figura 3-2, se presenta el equipo para la prueba de abrasión.

[103] Cfr. FHWA 1994 : 18

[104] Cfr. FHWA 1994 : 18

[105] Cfr. FHWA 1994 : 18

Figura 3-2: Equipo para la prueba de abrasión.



Fuente: Propia 2016.

En la figura 3-2, se muestra el equipo usado para este ensayo. Una vez terminada la simulación la muestra es secada al horno a una temperatura de 60 °C y pesada; la pérdida de peso reglamentada es de 0.540 kg/m^2, y a partir de este ensayo se obtiene el contenido mínimo de asfalto.[106]

3.4.1.3. PRUEBA DE RUEDA CARGADA (ISSA TB 109)

Sirve para determinar el máximo contenido de asfalto y evitar la exudación sistemas de morteros asfálticos y micropavimentos.[107] En este ensayo, una muestra con dimensiones de 5 cm de ancho, 27.5 cm de largo y un espesor de 1.25 veces que la

[106] Cfr. FHWA 1994:18

[107] Cfr. FHWA 1994:19

partícula más grande, es fijada a una placa de montaje y compactada con 57 kg y es sometida a 1000 ciclos.[108] A continuación, en la figura 3-3, se presenta el equipo para la prueba de rueda cargada.

Figura 3-3: Equipo para la prueba de la rueda cargada.



Fuente: Propia 2016.

En la figura 3-3, se presenta el equipo para la prueba. La compactación que se realiza se logra mediante los movimientos adelante y atrás de la rueda cargada durante 1000 ciclos.[109] Finalmente, se exige un valor máximo de adhesión de arena de 0.540 kg/m²

[108] Cfr. FHWA 1994:19

[109] Cfr. FHWA 1994:20

para las vías de tráfico pesado, pues si el valor de la adhesión de arena resulta menor al valor máximo, no ocurrirá la exudación en la mezcla. [110]

3.4.2. PRUEBA DE VERIFICACIÓN

3.4.2.1. PRUEBA SCHULZE BREUER AND RUCK (ISSA TB 144)

Esta prueba es considerada la más importante, pues es la encargada de verificar la compatibilidad entre los componentes del micropavimento (finos del agregado y residuo asfáltico).[111] Este método permite clasificar, en un sistema de valores de pérdidas por abrasión, absorción, adhesión y cohesión a altas temperaturas, características de una combinación de filler – bitumen para compararlos con los valores de ensayo de combinaciones realizadas para cada prueba.[112] La prueba consiste en mezclar el agregado con 8.2% de residuo asfáltico, preparar 8 pastillas de 40 gramos, con 30 mm de diámetro y espesor para ser sumergidas durante 6 días en agua; después las pastillas son pesadas para determinar la absorción y puestas en la máquina S-B dentro de cilindros giratorios cerrados y en agua durante 3600 ciclos.[113] Posterior, la muestra es pesada y se determina la perdida por abrasión, seguidamente, la muestra desgastada se sumerge en agua hirviendo durante 30 minutos para determinar la cohesión a alta temperatura.[114] Finalmente, la muestra es secada al aire por 24 horas y

[110] Cfr. FHWA 1994:19

[111] Cfr. FHWA 1994: 25

[112] Cfr. ISSA 2010: 44

[113] Cfr. FHWA 1994: 25

[114] Cfr. FHWA 1994: 25

se mide el porcentaje de partículas aún cubiertas por asfalto, el cual se conoce como adhesión.[115]

A cada una de las propiedades de la mezcla: absorción, perdida por abrasión, cohesión a altas temperaturas y adhesión se le asigna un puntaje, el cual identificará al mejor asfalto para una fuente de agregado; el ISSA exige un mínimo de 11 puntos para un sistema aceptable.[116] A continuación, se muestra el quipo usado para la prueba.

Figura 3-4: Equipo para la prueba de Schulze Breuer and Ruck.



Fuente: Propia 2016

[115] Cfr. FHWA 1994: 25

[116] Cfr. FHWA 1994: 25

En la figura 3-4, se puede observar el equipo usado para la prueba del Schulze Breuer and Ruck; donde se encuentra los cilindros giratorios llenos de agua. De acuerdo a los resultados de este ensayo, se puede determinar la viabilidad del uso de una cantera, ya que, de no tener una esperada afinidad entre los compuestos, se debe optar por cambiar la fuente de cantera o evaluar cambiar el tipo de emulsión. Se elegirá la alternativa que represente la mejor solución técnica y económica.

3.5. CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN DEL RESIDUO ASFÁLTICO

El diseño de los micropavimentos se basa en la determinación de los componentes necesarios para lograr la mejor solución desde el punto de vista técnico y económico. Con este objetivo, la norma ISSA A143 propone valores máximos y mínimos para las pruebas de desempeño, los cuales son La Prueba de Abrasión en Húmedo (ISSA TB 100) y La Prueba de Rueda Cargada (ISSA TB 109). A continuación, se presenta una tabla resumen de las especificaciones y exigencias mínimas que debe cumplir el diseño del micropavimento de acuerdo a la Norma ISSA A143:

Tabla III-6: Especificaciones de la Norma ISSA para el diseño de micropavimentos.

ENSAYO	MÉTODO	UNID.	VALOR	ESPECIFIC.
Tiempo de mezclado	ISSA TB 113	seg	120.00	Mínimo
Cohesión húmeda	ISSA TB 139	kg/cm	12.00	Mínimo 30 min
		kg/cm	20.00	Mínimo 60 min
WTAT	**ISSA TB 100**	**g/m^2**	**538.00**	**Máximo**
LWT	**ISA TB 109**	**g/m^2**	**538.00**	**Máximo**

Fuente: ISSA A143 2010.

Como se muestra en la tabla III-6, la prueba de abrasión en húmedo (WTAT) permite como máximo una pérdida de peso hasta 538 g/m2, la cual nos asegura un adecuado desempeño del micropavimento ante condiciones de abrasión en pavimentos mojados

para un vehículo circulando y frenando en una curva. Por otro lado, la prueba de rueda cargada (LWT) nos permite determinar el contenido máximo de asfalto y así evitar excesos. La Norma ISSA recomienda un máximo de adhesión de arena hasta 538 g/m^2, lo que nos tendrá en un rango seguro ante problemas de exudación en la mezcla.[117]

Los diseños que se encuentren dentro del rango de las especificaciones dadas en la Norma ISSA A143 son reconocidas como micropavimentos y están bien diseñados. Sin embargo, existen muchos valores para el contenido de asfalto dentro de este rango que se pueden utilizar para el futuro micropavimento. Es por ello que la norma recomienda dos criterios para optimizar la cantidad de residuo asfáltico en la mezcla, el criterio de la intersección de curvas y el criterio de las áreas equivalentes.

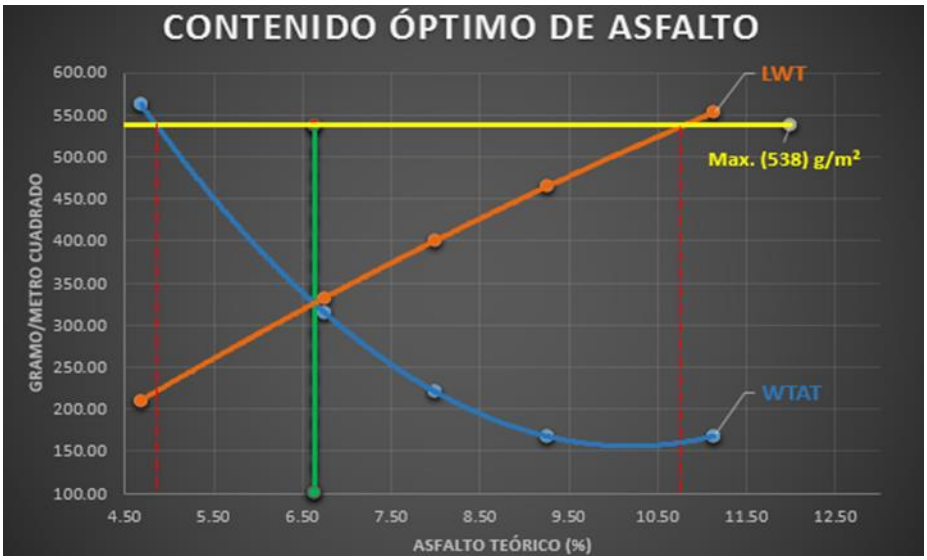
3.5.1. CRITERIO DE LA INTERSECCIÓN DE CURVAS

Este criterio nos indica que la cantidad óptima de cemento asfáltico se encuentra en la intersección de las dos curvas formadas por los ensayos de Abrasión en Húmedo (WTAT) y Rueda Cargada (LWT). El método para determinar dicho contenido óptimo de asfalto es intersectar las dos curvas y trazar un perpendicular desde la intersección hasta cortar con el eje de las abscisas. El punto de corte representa la cantidad óptima de residuo asfáltico en el micropavimento.

A continuación, se presenta la figura de las dos curvas y la intersección donde recae el contenido óptimo de cemento asfáltico:

[117] Cfr. FHWA 1994: 19

Figura 3-5: Contenido Óptimo de Asfalto – Criterio de la Intersección.



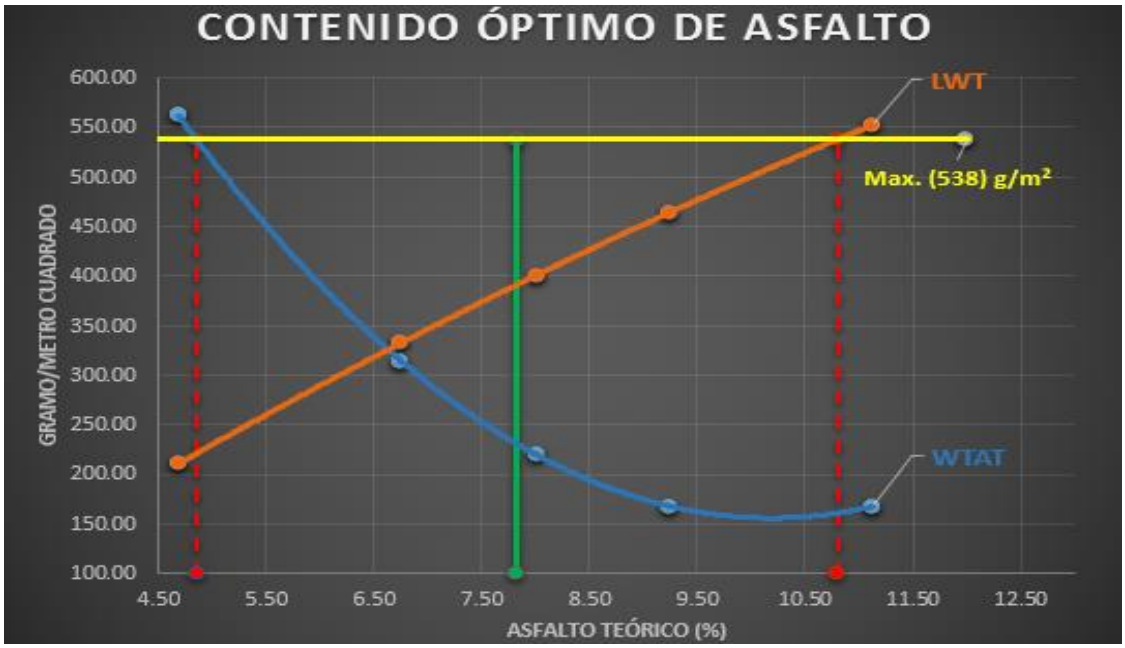
Fuente: Propia 2016.

En la figura 3-5, que es ejemplo, se puede apreciar que el contenido óptimo de residuo asfáltico es de aproximadamente 6.60%. Este valor se encuentra dentro del rango de aplicación que recomienda la Norma ISSA y para efectos de aplicación en obra, este valor puede variar en ±0.5%.

3.5.2. CRITERIO DE LAS ÁREAS EQUIVALENTES

El criterio de las áreas para calcular la cantidad óptima de residuo asfáltico se basa en intersectar las curvas de los ensayos Abrasión en Húmedo (WTAT) y Rueda Cargada (LWT) con las especificaciones máximas de la norma ISSA. Una vez obtenido los puntos de intersección, se traza una perpendicular hasta intersectar al eje de las abscisas y de esta manera se forma un rectángulo con un área definida. El criterio de las áreas indica que se debe trazar una recta vertical que divida dicha área obtenida en partes iguales, la intersección de esta recta con la abscisa determinará el porcentaje óptimo de cemento asfáltico. A continuación, se representa de manera gráfica el método de las áreas con y el resultado de la cantidad de cemento asfáltico óptimo:

Figura: Contenido Óptimo de Asfalto – Criterio de las Áreas Equivalentes.



Fuente: Propia 2016.

Para el caso en particular que se muestra en la figura, se puede apreciar que el contenido óptimo de residuo asfáltico es de aproximadamente 7.65%. Este valor se encuentra dentro del rango de aplicación que recomienda la Norma ISSA y para efectos de aplicación en obra, este valor puede variar en ±0.5%.

CAPÍTULO IV : DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1. ANTECEDENTES

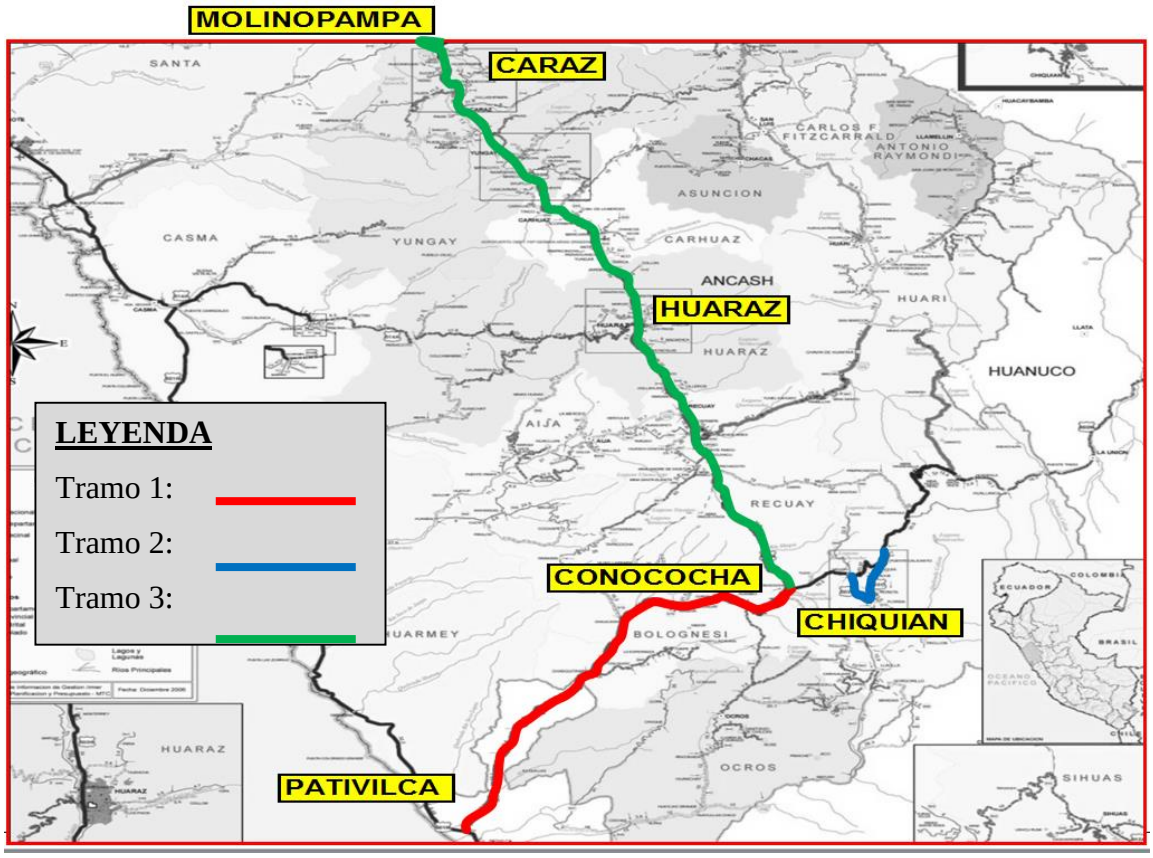
El proyecto evaluado, en este trabajo de investigación, forma parte del Eje Longitudinal de la Sierra, pertenece al Tramo III, el cual está tramificado desde la Sierra de Trujillo hasta Huánuco.

De acuerdo con los expedientes del MTC, en 1974 se construyó la carretera que forma parte de la Longitudinal de la Sierra. Para este proyecto, se utilizó el sistema de pavimentos flexibles con una carpeta asfáltica para aumentar el soporte estructural la durabilidad del pavimento asfáltico.

Posteriormente, pasados alrededor de 35 años, la vía ya se encontraba en un estado de deterioro. Por tal motivo, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) firma el contrato N° 013-2010-MTC/20 con el consorcio COSAPI-TRANSLEI para los servicios de Gestión y Conservación Vial por Niveles de la carretera EMP 1 – Conococha – Huaraz – Caraz – Molinopampa – y Emp. 3N Chiquián – Aquia – Emp. 3N, vías que integran a los departamentos de Lima y Ancash. El plazo del contrato de conservación vial presenta una vigencia de 5 años, la cual inició el día 02/03/2010 y culminó el día 01/03/2015.

El proyecto de conservación periódica por niveles se dividió en tres tramos para su tratamiento adecuado, los tramos fueron: Pativilca – Conococha, Conococha – Chiquián y Conococha – Huaraz – Caraz – Molinopampa. A continuación, en la figura 4-1 se muestra los tres tramos pertenecientes al contrato de conservación por niveles.

Figura 4-1: Clasificación de tramos del Contrato de Conservación por Niveles Servicios, suscrito por el Consorcio COSAPI - TRANSLEI.



Fuente: Provías Nacional 2015.

En la figura 4-1, se puede apreciar los tres tramos de acuerdo a su distribución en el mapa de Ancash y, que en conjunto forman aproximadamente 332 km. Los tres tramos tuvieron un tratamiento de reciclado con asfalto espumado para estabilizar la base. A continuación, se detalla brevemente el tipo de tratamiento para la capa de rodadura seleccionada para cada tramo:

Tramo 1 (Pativilca – Conococha): este tramo forma parte de la carretera de penetración Pativilca – Huaraz. Presenta un tráfico alto volumen debido a la gran circulación vehicular entre Ancash y Lima. Por este motivo, se seleccionó la carpeta asfáltica con

un espesor de 2 pulgadas como capa de rodadura, ya que hasta la fecha es el más adecuado para zonas de alto tráfico.

Tramo 2 (Conococha – Chiquián): es un tramo con un tráfico ligero, esto debido a que muy pocos lo usan, ya que se habilitó una vía adicional por la minera ANTAMINA. Por este motivo, la capa de rodadura seleccionada fue un tratamiento superficial bicapa.

Tramo 3 (Conococha – Huaraz – Caraz – Molinopampa): en este tramo se ubica el famoso corredor del Callejón de Huaylas, el tráfico es de forma moderado – alto, pues por esta zona transitan los vehículos pertenecientes a los sectores de comercio, turismo y minería. Por este motivo, se eligió un tratamiento con micropavimento, el espesor usado fue de 10 mm.

Concluidos los 5 años del Contrato de Conservación Periódica por Niveles, el MTC suscribe el Contrato Complementario N° 049-2015-MTC/20 del contrato principal N° 013-2010-MTC/20 para el servicio de Gestión y Conservación Vial de la Carretera Emp. 1N – Conococha – Huaraz – Caraz – Molinopampa – y Emp. 3N Chiquián – Aquia – Emp. 3N. De acuerdo al Acta de Entrega de Bienes y Servicios de Provías Nacional, el plazo del contrato complementario es desde el día 23 de mayo del 2015 y su culminación será para el día 22 de mayo del 2016.

Debido al limitado presupuesto del contrato complementario, se realizaron evaluaciones de los tres tramos del contrato original para determinar el tramo más crítico. Con tal objetivo, se desarrollaron evaluaciones de tipo superficial, estructural y funcional:

Evaluación Superficial: esta evaluación involucra daños y fisuras superficiales, tales como: piel de cocodrilo, fisuras longitudinales, ahuellamiento, bacheos, desprendimientos, huecos, fisuras transversales o exudación. Los resultados obtenidos del relevamiento de información muestran que los daños ocasionados a los tres tramos presentan un porcentaje de representatividad bastante bajos con respecto al área de cada

uno de los tramos. Por lo tanto, se puede concluir el buen comportamiento superficial del pavimento a nivel general.

Evaluación Estructural: para determinar los daños se usó la evaluación estructural no destructiva con el empleo del deflectómetro de Impacto (HFWD), conocido como Deflexión por Viga Benkelman. Las deformaciones se comparan con el valor de la deflexión admisible considerando el Número de Ejes Equivalentes de 8.20 toneladas. Los resultados muestran que en general las deformaciones están por debajo de la deflexión admisible, por lo cual se concluye que estructuralmente el pavimento se encuentra en buen estado.

Evaluación Funcional: se realiza con referencia a las irregularidades longitudinales, expresados por el índice del IRI con ayuda del equipo sofisticado como el Perfilógrafo Laser RSP-L5. En general, los tres tramos se encuentran en aceptables condiciones funcionales. Sin embrago, debido a la alta frecuencia de los vehículos, el tramo Conococha – Recuay requiere una intervención periódica a nivel funcional con fines de reducir la irregularidad promedio. A continuación, en la figura 4-2 se muestra la condición del pavimento antes de la micropavimentación.

Figura 4-2: Condición anterior del pavimento en el tramo Conococha – Recuay.



Fuente: Propia 2015.

En la figura 4-2, de acuerdo a las evaluaciones descritas, el contratista conservador plantea una solución básica periódica en base a trabajos de tratamientos de fisuras y con aplicación de una segunda capa de micropavimento de 10 mm de espesor. Los sectores a micropavimentar en suman una longitud total de 22 kilómetros.

4.2. UBICACIÓN

El proyecto vial evaluado, cruza los distritos Conococha - Recuay tiene una longitud aproximada de 22 Km y se encuentra ubicado en el departamento de Ancash. Este tramo viene a formar parte del proyecto de conservación vial por niveles de servicio de 332 Km de la carretera asfaltada Pativilca - Conococha - Huaraz - Caraz - Molinopampa y Chiquián – Aquia.

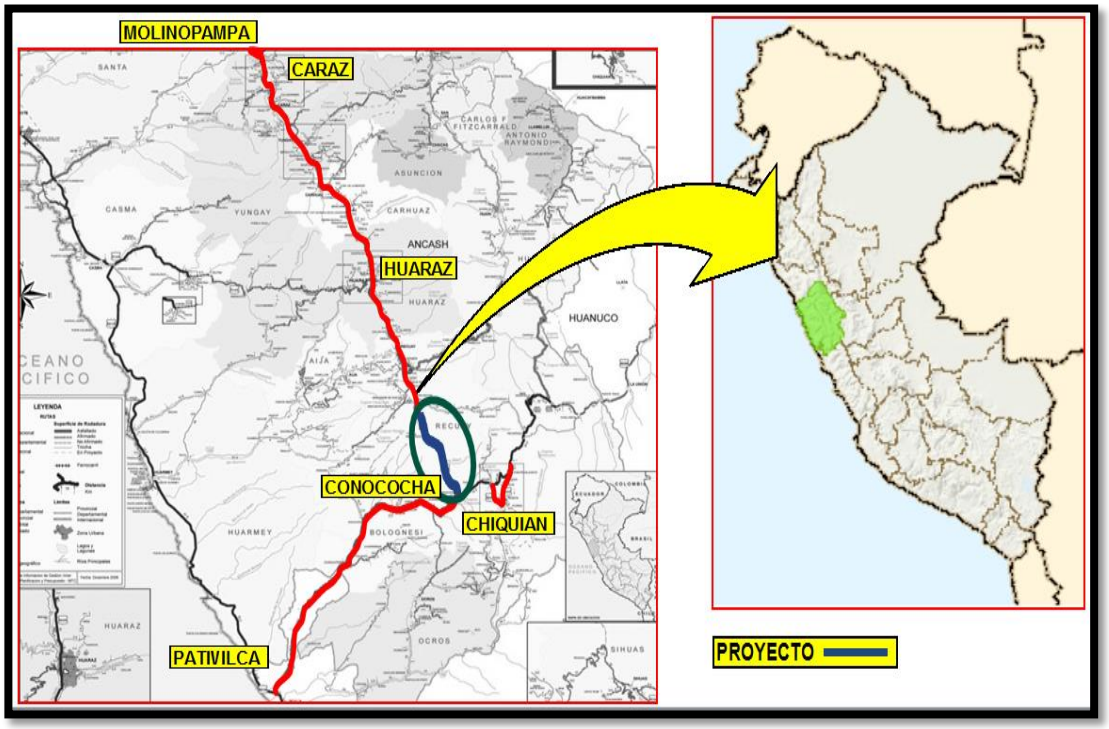
Geográficamente la provincia de Recuay se encuentra ubicado en el extremo sur del Callejón de Huaylas, limitadas por las Cordilleras Blanca y Negra, cuyo río principal

es El Santa. El tramo a micropavimentar es Conococha – Recuay, el cual se encuentra hacia la margen izquierda del Río Santa.

El principal acceso a las ciudades de Recuay y Huaraz está constituido por la Vía de Penetración del Sistema Regional Pativilca – Huaraz – Caraz, el cual es una carretera totalmente asfaltada que los conecta con la costa y a todos los centros poblados del Callejón de Huaylas.[118]

A continuación en la figura 4-3, se muestra el tramo a ser evaluado, la cual se definió como sector crítico de acuerdo a una evaluación integral del pavimento.

Figura 4-3: Ubicación del Proyecto Vial.



Fuente: MTC 2015.

[118] Cfr. INDECI 2004: 82

4.3. CLIMA

Para realizar la descripción del clima se tendrá en cuenta los siguientes parámetros del tiempo meteorológico: la temperatura, la humedad, la presión, los vientos y las precipitaciones. Debido a su altitud, alrededor de 3400 m.s.n.m. los distritos de Conococha y Recuay se caracterizan por presentar bajas temperaturas que varían de acuerdo al periodo de tiempo 14 a 20 ° C. Las precipitaciones, varían desde 0.5 a 16.8 mm, dependiendo de la intensidad con la que se presente el periodo de lluvias. La humedad y la presión característica son de 50 % y 1019 hpa aproximadamente. Por último, los vientos alcanzan una velocidades de 10 a 18 km/h.[119] A continuación en las figuras 4-4 y 4-5 se muestra el estado climático que estuvo presente durante el proyecto vial.

Figura 4-4: Ambiente soleado en el tramo Conococha – Recuay.



Fuente: Propia 2015.

[119] Cfr. Meteored 2015: 1

Figura 4-5: Ambiente nublado en el tramo Conococha – Recuay.



Fuente: Propia 2015.

En las figuras 4-4 y 4-5, se aprecia los climas presentados durante la etapa de puesta en marcha del proyecto, en algunos días el clima era soleado hasta las dos de la tarde y luego la temperatura bajaba considerablemente, e incluso hubo días donde las precipitaciones impedían el avance en obra.

4.4. TOPOGRAFÍA

El objetivo del Estudio Topográfico es proporcionar información básica y necesaria basada en informes recopilados y evaluados, en data topográfica tomada en campo y procesada en gabinete de la topografía, cartografía, elementos estructurales, hidráulicos y demás de la zona materia del estudio.

El objetivo secundario es obtener Benchs Marks o Puntos de control en un número suficiente como para desarrollar trabajos de verificación de cotas (principalmente Su-rasante) y tener cotas de referencia para los trabajos a licitarse.

El objetivo de un levantamiento topográfico es la determinación, tanto en planimetría como en altimetría, de puntos del terreno necesarios para la representación fidedigna de un determinado sector del terreno a fin de:

- Elaborar planos topográficos a escalas adecuadas.
- Proporcionar información de base para los estudios hidráulicos, geológicos, canteras, fuentes de agua, suelos, y de impacto ambiental.
- Elaborar planos de los elementos estructurales replanteados en campo.

Para el proyecto estudiado, no se realizó estudios topográficos específicos, ya que en un contrato de conservación vial sólo se realizan trabajos de mantenimiento periódico y rutinario. Sin embargo, de acuerdo a los estudios de proyectos cercanos y la visualización presencial en obra, se puede definir que la zona del tramo Conococha – Recuay es característico de las cadenas montañosas predominantes en la sierra. Se puede apreciar el Nevado del Huascarán en el horizonte y la vegetación característica es el ichu y flora de la puna que predomina en los andes peruanos.

4.5. GEOLOGÍA

4.5.1. GEOLOGÍA REGIONAL

De acuerdo a la cartografía elaborada por el INGEMMET la geología regional está representada por dos rocas abundantes en la zona: las rocas ígneas intrusivas que están representadas por el emplazamiento del denominado Batolito de la Cordillera Blanca y las rocas ígneas extrusivas provenientes del emplazamiento de las rocas volcánicas provenientes de la Cordillera Negra.

4.5.1.1. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología nos permite conocer la evolución de la superficie en el área del proyecto. La ciudad de Recuay y alrededores desde el punto de vista geomorfológico se encuentra ubicada en la cuenca superior del Río Santa, Cordillera Occidental. Dentro de esta unidad morfo estructural se encuentran sub unidades denominadas: Flanco

Occidental de la Cordillera Blanca, Flanco Oriental de la Cordillera Negra y El Valle del Río Santa.[120]

Flanco Occidental de la Cordillera Blanca: este accidente geomorfológico muestra una pendiente media de 25° y está constituido por una abundante acumulación de material morrénico. La superficie del Flanco Occidental está disectada por los ríos y quebradas que descienden del glaciar de la Cordillera Blanca y se entregan al curso del Río Santa.[121]

Flanco Oriental de la Cordillera Negra: este relieve muestra una pendiente irregular hacia el este de la ciudad de Recuay y de los poblados de Ticapampa y Cátac, variando entre los 10° a 40° de inclinación. Estas quebradas sirven como colectores de las aguas que caen en tiempos de lluvia y la entregan al cauce del Río Santa en forma de pequeños colectores superficiales.[122]

El Valle del Río Santa: es un curso hidrológico que se encuentra entre las dos sub unidades geomorfológicas antes descritas y presenta un recorrido general de sur a norte. En ambas márgenes del río se emplazan las terrazas aluviales generadas por el transporte y deposición del material suelto arrastrado por el flujo del agua. Estas terrazas han permitido el emplazamiento de los poblados de Recuay, Ticapampa y Cátac, las cuales se encuentran expuestas a erosiones de mayor o menor magnitud ocasionadas por el recorrido de las aguas del Río Santa.[123]

---

[120] Cfr. INDECI 2004: 88

[121] Cfr. INDECI 2004: 88

[122] Cfr. INDECI 2004: 88

[123] Cfr. INDECI 2004: 89

4.5.1.2. LITOLOGÍA

En la zona de Recuay las rocas que constituyen el basamento son:

Rocas Sedimentarias: en la Cordillera Blanca, frente a la localidad de Recuay, aflora un paquete de rocas sedimentarias que pertenecen a las formaciones geológicas denominadas Chimú y Santa. Son de edad cretáceo y está conformada por cuarcitas y areniscas blancas que se presentan en bancos masivos con escasas capas de lutitas.[124]

Rocas Volcánicas: son representadas por las formaciones denominadas Volcánicos Calipuy, cuyo emplazamiento particularmente se encuentra a lo largo de la Cordillera Negra. Están constituidas por una secuencia de piroclastos, derrames, brechas y tufos de espesor variable. Sobreyacen a las rocas sedimentarias por una fuerte discordancia angular. La litología de estas rocas está constituida por aglomerados de finos a gruesos, y presentan un delgado horizonte superior de areniscas tufáseas.[125]

Rocas Intrusivas: en la cartografía geológica de INGEMMET demarca en el flanco oriental de la Cordillera Negra, afloramientos de intrusiones pequeñas que podrían corresponder a algunas de las chimeneas de eyección de los derrames volcánicos Calipuy. Un cuerpo de esta naturaleza se emplaza al noreste de la localidad de Recuay, su litología corresponde a una roca dacita, de textura porfirítica, de color gris claro en su estado fresco y gris amarillento cuando intemperiza.[126]

---

[124] Cfr. INDECI 2004: 89

[125] Cfr. INDECI 2004: 89

[126] Cfr. INDECI 2004: 89

4.5.1.3. MATERIAL DE COBERTURA

Esta denominación se da a todo material suelto distribuido con mucha amplitud en el área de estudio. En este caso se centra particularmente en las márgenes del Río Santa y en el cauce mismo del río.[127] Y se pueden encontrar los siguientes:

Material Morrénico (Q-mo): se encuentran de manera importante en el flanco oriental de la Cordillera Blanca y son producto de la última glaciación (pleistocénica) ocurrida en el pasado geológico reciente. Está conformado por cañones de erosión así como rocas sedimentarias erosionadas internamente. Está constituida por arcillas arenosas, de baja plasticidad; gravas, gravillas y por clastos mayores.[128]

Material Aluvial (Q-al): son los materiales sueltos que se encuentran en ambas márgenes del Río Santa. Están conformados por arenas y rocas, en menor proporción por arcillas y limos.[129]

Material Fluvial (Q-fl): son los materiales sueltos encontrados en el cauce actual del Río Santa. Están constituidos por las gravas, arenas y guijarros; los cuales son excelentes materiales para la construcción.

Depósitos de Travertinos (Q-t): son materiales que forman acumulaciones en forma de mantos y costras. Se encuentran constituidos por carbonato de calcio.[130]

---

[127] Cfr. INDECI 2004: 91

[128] Cfr. INDECI 2004: 91

[129] Cfr. INDECI 2004: 91

[130] Cfr. INDECI 2004: 91

Depósitos Deluviales (Q-de): son producto de la re-deposición de los productos de meteorización ubicados en las laderas de la Cordillera Negra. Son de pobre compactación y muy permeables.

Glaciares: se comprende del agua sólida ubicada en las partes altas de la Cordillera Blanca.[131]

4.5.2. GEOLOGÍA LOCAL

4.5.2.1. GEOMORFOLOGÍA

El Río Santa en todo su recorrido ha ido erosionando progresivamente las rocas volcánicas y sedimentarias. Este mecanismo ha permitido que se presente afloramientos de roca en el margen izquierdo del río y depósitos fluvio-glaciar en la margen derecha. Presenta también una marcada diferenciación en su perfil transversal: en la margen izquierda el talud sobre roca tiene una pendiente entre 25° y 50°, mientras que en la margen derecha los taludes son menores a 15°.[132]

La formación de las terrazas aluviales en las márgenes del Río Santa ha permitido el emplazamiento de las poblaciones: Recuay y Ticapampa se encuentran en el margen izquierdo del Río Santa y Cátac en la margen derecha.[133]

4.5.2.2. ROCAS DE BASAMENTO

Los afloramientos rocosos se encuentran en la margen izquierda del Río Santa y conforman el Flanco de la Cordillera Negra.

---

[131] Cfr. INDECI 2004: 91

[132] Cfr. INDECI 2004: 93

[133] Cfr. INDECI 2004: 93

4.5.2.3. MATERIAL DE COBERTURA

Las terrazas están compuestas por material suelto constituidas por gravas de litología dura y resistente, arenas y una cobertura arcillo-limosa.

4.6. HIDROGRAFÍA

Los ríos que drenan el territorio de la región Ancash, pertenecen a las cuencas del Pacífico y al sistema de la cuenca del Marañón (Atlántico). Los ríos de la vertiente del Pacífico más destacados son: Santa, Lacramarca, Nepeña, Casma, Culebras, Huarmey, Pativilca y Fortaleza.[134]

En la presente investigación se toma mayor importancia en la cuenca del Río Santa, por lo cual a continuación de dará mayor detalle.

Cuenca del río Santa, es la más importante de la vertiente del Pacífico; tiene sus nacientes en el nevado Tuco al sur de la Cordillera Blanca. En sus orígenes se llamaba quebrada de Tuco, que vierte sus aguas sucesivamente en la laguna de Aguash y Conococha. De esta última salen las aguas con el nombre de río Santa, que recorre de sur a norte, formando el valle denominado Callejón de Huaylas, cuya población se concentra en ciudades importantes ubicadas en su margen derecha: Huaraz, Carhuaz, Yungay y Caraz y en la margen izquierda Recuay. Este río recibe la afluencia de 23 ríos importantes de la Cordillera Blanca. Las aguas del Río Santa, por sus características de caudal permanente, no sólo generan energía eléctrica, sino también son captadas en la margen derecha para la irrigación CHAVIMOCHIC que va a irrigar miles de hectáreas en el departamento de La Libertad. Otra "bocatoma" capta sus aguas en la margen izquierda para el proyecto de irrigación denominado "Chinecas", en territorio ancashino, que se localiza en el área de Chimbote y al sur de esta ciudad.[135]

---

[134] Cfr. INDECI 2004: 26

[135] Cfr. INDECI 2004: 26

Las aguas están contaminadas desde antes de la ciudad de Cátac, por relaves mineros depositados en sus orillas y se agravan al pasar por esta localidad, por Ticapampa y por Recuay. La contaminación de este río se produce también por las aguas servidas de los asentamientos, que sin ningún tratamiento son vertidas a sus aguas, y por la basura que dichos asentamientos arrojan al río. La mayoría de sus afluentes tienen su origen en las lagunas y glaciares de la Cordillera Blanca.[136]

4.6. HIDROLOGÍA

La hidrología se encarga principalmente del estudio de las cuencas encontradas en el área de estudio. La finalidad del estudio hidrológico es determinar los caudales máximos de las quebradas y ríos que discurren por el área de influencia de la zona de estudio. Los caudales máximos son eventos extraordinarios que causan daños y ponen en peligro a las ciudades y las obras realizadas.[137]

Se determinó que la cuenca que influencia el tramo Conococha - Recuay es la cuenca del Río Santa con un área aproximada de 1195 km^2 para la zona de Recuay. De acuerdo a la Ley General de Aguas de España, la zona inundable es aquella área ocupada por las aguas en la avenida para un periodo de retorno de 500 años. De esta manera, en la Cuenca del Río Santa para la zona de Recuay se determinó que el caudal de avenida es de aproximadamente 300 m^3/s.[138]

4.8. SISMICIDAD

El territorio nacional está dividido en cuatro zonas, esta zonificación es basada en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los

[136] Cfr. INDECI 2004: 26

[137] Cfr. INDECI 2004: 97

[138] Cfr. INDECI 2004: 97

movimientos sísmicos, así como en información neotectónica.[139]A continuación, en la figura 4- 6, se muestra la distribución de zonas sísmicas en el Perú.

Figura 4-6: Mapa de la zonificación sísmica.



Fuente: MVCS 2016.

En la figura 4-6, se observa el mapa del Perú dividido en cuatro zonas sísmicas, el proyecto en investigación se encuentra en la ciudad de Huaraz, distrito de Recuay, por lo que la zona sísmica asignada es la número 3. Asimismo, se realizan estudios de microzonificación sísmica, la cual investiga los efectos de sismos y fenómenos

[139] Cfr. MVCS 2014:08

relacionados como licuefacción de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros. [140] Para el caso de Huaraz se realizaron los estudios de microzonificación y se dividió en cuatro zonas. A continuación, se muestra la clasificación y las características para cada sector.

1. Zona I:

Caracterizada por presentar suelo granular gravoso en matriz limo-arenosa, medianamente compacto, tiene un nivel freático que se encuentra por debajo de los 6.0 metros. La posibilidad de ocurrencia de asentamientos o amplificación con un sismo es nula. La capacidad portante es mayor que 2.0 kg/cm^2.[141]

2. Zona II:

El subsuelo consiste de limos arenosos de baja plasticidad ubicados encima de una capa dura de arcilla de baja plasticidad. Tienen un nivel freático que está por debajo de 1.50 metros. La posibilidad de asentamientos es nula, sin embargo puede ocurrir amplificación sísmica. La capacidad portante es inferior a 2.0 kg/cm^2.[142]

3. Zona III:

Presentan gravas y arenas poco cementadas con diferente gradación. El nivel freático está por debajo de los 3.0 metros. Se pueden esperar amplificaciones sísmicas. La capacidad portante es de 2.0 kg/cm^2.[143]

4. Zona IV:

Caracterizada por presentar las condiciones del subsuelo más desfavorables. La estratigrafía consiste en suelos limo-arcillosos poco consolidados o limos arenosos de

---

[140] Cfr. MVCS 2014:09

[141] Cfr. Alva, Hurtado y Bustamante 2000:06

[142] Cfr. Alva, Hurtado y Bustamante 2000:06

[143] Cfr. Alva, Hurtado y Bustamante 2000:06

baja plasticidad. El nivel freático es superficial, siendo en algunos lugares menores a 1.50 metros. Con un sismo se esperan asentamientos del terreno y amplificación. Presenta una capacidad portante inferior a 1.0 kg/cm^2.[144]

[144] Cfr. Alva, Hurtado y Bustamante 2000:07

CAPITULO V: DISEÑO DE MICROPAVIMENTOS

5.1. TOMA DE MUESTRAS DEL PROYECTO

El proyecto de la presente investigación se suscribe con la siguiente denominación: Contrato Complementario N°049 – 2015 – MTC / 20 del Contrato Principal N° 013 – 2010 – MTC/20 para el "Servicio de Gestión y Conservación Vial de la Carretera Emp.1N – Conococha – Huaraz – Caraz – Molinopampa – y Emp. 3N – Chiquián – Aquia – Emp. 3N". Para poder recabar la información necesaria correspondiente a la investigación, se realizó una visita al proyecto ubicado en la Ciudad de Huaraz y se hizo el recorrido a lo largo del tramo Conococha – Recuay. De esta manera, se obtuvo la siguiente información.

5.1.1. UBICACIÓN

La carretera Emp. 1N – Conococha – Huaraz – Caraz – Molinopampa y Emp. 3N – Chiquián – Aquia – Emp. 3N, corresponde a las rutas nacionales PE 016 y PE 03N, la cual se encuentra entre los departamentos de Lima y Ancash. El tramo Conococha – Recuay presenta una longitud de 22 km, el cual se plantea una solución de micropavimentación para mejorar el grado de servicialidad al usuario. A continuación, se presenta los cuatro sectores que de acuerdo a los análisis superficial, estructural y funcional se determinaron como los sectores críticos a ser micropavimentados.

Tabla V -1: Sectores de micropavimentos.

Tramo	En Métricas		Como Puntos de Referencia		Ajustado a 22 km		LONGITUD (m)
	Inicio	Fin	Inicio	Fin	INICIO	FIN	
II	501+000	504+000	500+651	503+648	500+640	503+640	2,999.44
	515+000	521+000	514+660	520+674	514+650	520+670	5,999.78
	535+000	542+000	534+675	541+683	534+670	541+633	7,000.98
	552+500	558+500	551+711	557+717	551+690	557+645	5,999.80
					TOTAL		22,000.00

Fuente: PCV – CP, Conococha-Recuay 2015.

En la Tabla V-1, se aprecian los 22 km comprendidos Conococha- Recuay, que se presentan en la propuesta técnica presentada a Provías Nacional.

5.2. CANTERA Y FUENTES DE AGUA

Para la selección de la cantera se tomó en consideración los requerimientos de las Especificaciones Técnicas EG-2013, referidas al agregado mineral, para su empleo en la preparación de micropavimentos.[145]Asimismo, para la elección de canteras se tomó en cuenta los siguientes criterios: ubicación, potencia, rendimiento, calidad, disponibilidad y forma de extracción.

Se seleccionó la Cantera Acaray, la cual se encuentra a la altura del km 154+000 LD de la carretera Panamericana Norte en la jurisdicción del distrito de Huaura, provincia del mismo nombre, departamento de Lima, siendo la distancia de acceso de 10 km a través de una trocha existente.

[145] Cfr. MTC EG-2013: 131

Figura 5-1: Selección de la Cantera Acaray.



Fuente: PCV – CP, Conococha-Recuay 2015.

En la figura 5-1, se presenta la cantera Acaray y a continuación sus características:

- UBICACIÓN: Km 154+000 LD
- ACCESO: 10 Km
- DISPONIBILIDAD: Disponible
- ÁREA A EXPLOTAR: 200,000 m^2
- PROFUNDIDAD POTENCIA: 600,000 m^3
- ÉPOCA DE EXPLOTACIÓN: Todo el año.

Por otro lado, las fuentes de agua se identificaron y ubicaron a lo largo de todo el Corredor Vial del Tramo Conococha – Huaraz. A continuación, se muestra las fuentes de agua.

Tabla V -2: Selección de las Fuentes de Agua.

N°	FUENTES DE AGUA	UBICACIÓN	LADO	ACCESO	OBSERVACIONES
1	Río Santa	499+000	LD	2100 m.	
2	Río Santa	503+800	LD	1700 m.	
3	Río Santa	513+250	LD	200 m.	Romatambo
4	Río Santa	517+200	LD	80 m.	Puente Uscuchaca
5	Riachuelo	527+500	LI	100 m.	
6	Río Pachacoto	537+000	LD	200 m.	
7	Canal	542+390	LD	A pie de carretera	Entrada a Catac
8	Río Santa	554+300	LD	700 m.	
9	Río Santa	555+680	LD	200 m.	
10	Río Santa	557+300	LD	600 m.	Antes del Puente Bedoya

Fuente: PCV – CP, Conococha-Recuay 2015.

En la tabla V-2, se presenta la relación de fuentes de agua (ubicaciones expresadas como Puntos de Referencia) propuestas para ser empleadas en la elaboración del mortero asfáltico a colocar.

5.2.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO DE LA CANTERA ACARAY

Para la selección de la cantera de agregado, se realizaron distintos ensayos, los cuales permitieron evaluar las características técnicas del árido y determinar si es apto para su uso en la mezcla de micropavimento. Cabe resaltar que la mezcla es realizada con agregados 100% triturados y que cumplen las especificaciones. Los resultados obtenidos para los ensayos son los siguientes:

- Análisis granulométrico (ASTM C 136): Satisfactorio
- Clasificación SUCS: SP
- Clasificación AASHTO: A-1-b (0)
- Limite Líquido: NP

- Limite Plástico: NP
- Equivalente de arena (ASTM D 2419): 45%
- Partículas chatas y alargadas (ASTM D 4791): 4%
- Abrasión por máquina Los Ángeles (ASTM C131): 12%
- Impurezas orgánicas (ASTM C 40): -
- Sales solubles agregado fino: -

De acuerdo con las muestras ensayadas se pude determinar que la cantera Acaray es apta para el micropavimento.

5.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

Para realizar el diseño de laboratorio del micropavimento el primer paso y uno de los más fundamentales es la caracterización del agregado, ya que la calidad del micropavimento está relacionada directamente a la calidad del agregado.

El primer requisito obligatorio es que la arena de cantera debe ser cien por ciento chancada de acuerdo a los estándares de calidad de la norma ISSA y la Norma Peruana EG-2013.

Para el presente proyecto de investigación se desarrollaron las siguientes pruebas de laboratorio para determinar las características del agregado y de esa manera elegir los materiales adecuados.

5.3.1. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

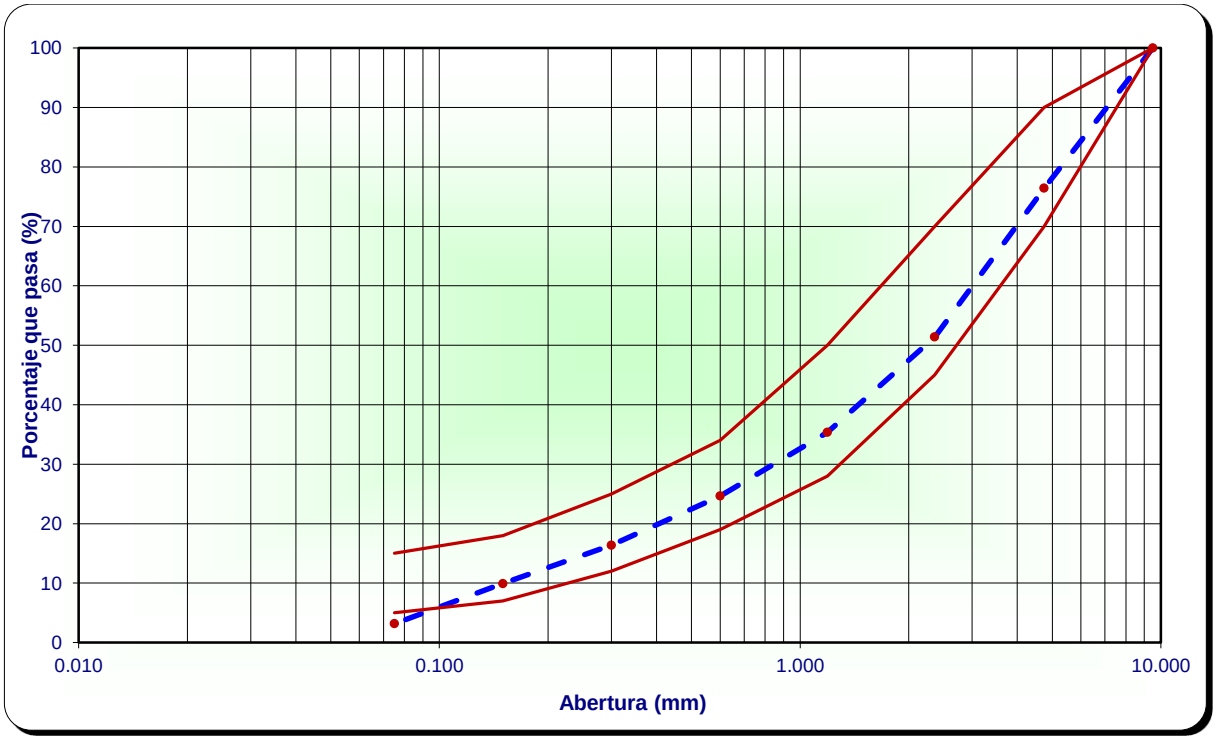
Para el diseño de micropavimento se seleccionó el Uso Tipo III de acuerdo a la norma ASTM C 117, el cual fue elegido en base a las solicitaciones del tráfico y de las cargas que se trasladan por dicha zona Conococha – Recuay. Los resultados del ensayo de granulometría se muestran a continuación.

Tabla V-3: Análisis granulométrico de la arena chancada.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC. USO 3	
3/8"	9.500				100.0	100	100
Nº 4	4.750	368.7	23.6	23.6	76.4	70	90
Nº 8	2.360	391.7	25.0	48.6	51.4	45	70
Nº 16	1.190	251.1	16.0	64.6	35.4	28	50
Nº 30	0.600	167.7	10.7	75.4	24.6	19	34
Nº 50	0.300	129.3	8.3	83.6	16.4	12	25
Nº 100	0.150	101.0	6.5	90.1	9.9	7	18
Nº 200	0.075	105.6	6.7	96.8	3.2	5	15
< Nº 200	FONDO	49.9	3.2	100.0	0.0		

Fuente: Propia 2016.

Figura 5-2: Curva granulométrica, Micropavimento Tipo III.



Fuente: Propia 2016.

En la tabla V-3 y la figura 5-2, se puede apreciar que, los resultados son satisfactorios, pues el agregado cumple con la gradación del tipo III; el cual es el elegido para el proyecto vial y donde se consideran las tolerancias de la especificaciones del ISSA.

5.3.2. EQUIVALENTE DE ARENA

La prueba del equivalente de arena se utiliza con el fin de obtener la cantidad de arena específica que se encuentra en el agregado. De acuerdo con la Norma ASTM 2419, la cantidad mínima del equivalente de arena es de 65% para el caso de micropavimentos. A continuación, en la tabla V-4, se mostrará los resultados obtenidos del ensayo.

Tabla V-4: Resultados de los ensayos de equivalente de arena.

N° DE ENSAYO	Und.	1	2	3
Hora de entrada a saturación	Hrs	09:00:00 a.m.	09:05:00 a.m.	09:10:00 a.m.
Hora de salida a saturación	Hrs	09:10:00 a.m.	09:15:00 a.m.	09:20:00 a.m.
Hora de entrada a decantación	Hrs	09:13:00 a.m.	09:18:00 a.m.	09:23:00 a.m.
Hora de salida a decantación	Hrs	09:33:00 a.m.	09:38:00 a.m.	09:43:00 a.m.
Altura máxima del material fino	pulg	4.80	4.78	4.79
Altura máxima de la arena	pulg	3.65	3.64	3.64
EQUIVALENTE DE ARENA	**%**	**76.0%**	**76.2%**	**76.0%**
PROMEDIO EQUIV. ARENA	**%**	**76%**		

Fuente: Propia 2016.

En la tabla V-4, se muestra el promedio de las tres pruebas de acuerdo a la norma resultaron 76 %, por lo cual se encuentran en el rango admisible para un micropavimento.

5.3.3. AZUL DE METILENO

Esta prueba mide la reacción química del agregado, la norma ISSA TB 145 plantea que el valor máximo para reaccionar el agregado fino es de 15 mg/g.

Tabla V-5: Resultados de los ensayos de Azul de Metileno.

ENSAYO	Valor del Azul de Metileno (mg/g)
Cantera Acaray	**9.0**

Fuente: Propia 2016.

En la tabla V-5, se muestra el valor obtenido que permite plantear también, una primera aproximación para las consideraciones del diseño del micropavimento.

5.3.4. PESO UNITARIO

Se realizó el ensayo de peso unitario para la arena cien por ciento chancada de las exigencias de la Norma ASTM C29. A continuación, se muestran los resultados.

Tabla V-6: Resultados de los ensayos de Peso Unitario

AGREGADO FINO		PESO UNITARIO SUELTO		
ENSAYO	**Und.**	**1**	**2**	**3**
Peso Material + Molde	g	6569.0	6574.0	6568.0
Peso de Molde	g	1518.0	1518.0	1518.0
Peso Neto de Material	g	5051.0	5056.0	5050.0
Volumen de Molde	cm^3	2866.0	2866.0	2866.0
Peso Unitario Suelto	g/cm^3	1.762	1.764	1.762
Promedio Peso Unitario Suelto	g/cm^3	1.763		
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO	**Kg/m^3**	**1763**		

Fuente: Propia 2016.

En la tabla V-6, se muestran los resultados obtenidos del ensayo de Peso Unitario, y el peso unitario suelto promedio obtenido es de 1763 kg/m^3.

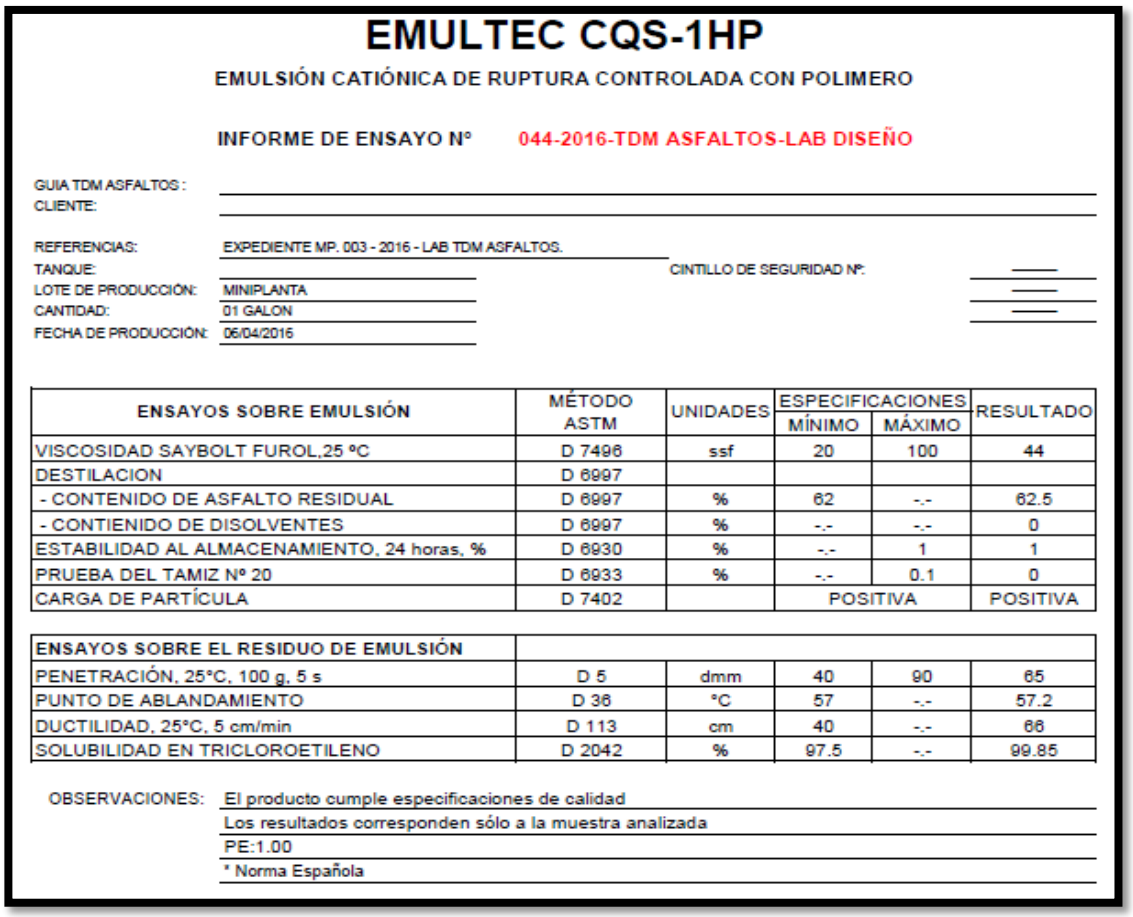
5.4. SELECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE LA EMULSIÓN

La emulsión seleccionada para el micropavimento es: "Emulsión Catiónica de Ruptura Controlada con Polímero". En la práctica, solo tres empresas se dedican a este rubro, las cuales son TDM-Asfaltos, BITUPER y PETROPERÚ. Para este proyecto en particular, se trabajó con TDM-Asfaltos, la cual se encarga de proveer la emulsión "EMULTEC CQS-1HP" y además es de responsabilidad de la empresa garantizar que se cumplan las especificaciones técnicas de la norma EG-2013 y, se realizó un riguroso plan de calidad (agregados, emulsión asfáltica y mezcla) con el fin de obtener los resultados satisfactorios. La emulsión asfáltica para micropavimentos deberá ser modificado con polímeros. El polímero deberá ser incorporado al residuo asfáltico antes del proceso de emulsificación. Generalmente, se considera un 3% de polímero con respecto al peso del asfalto como mínimo.[146]

Para poder verificar si se cumplen las especificaciones técnicas EG-2013, la empresa encargada de proveer la emulsión presenta un certificado con todos los estándares de calidad y requerimientos de la norma, que se mostrarán a continuación.

[146] Cfr. ISSA A143 2010: 02

Figura 5-3: Certificado de la Emulsión.



EMULTEC CQS-1HP

EMULSIÓN CATIÓNICA DE RUPTURA CONTROLADA CON POLIMERO

INFORME DE ENSAYO N° 044-2016-TDM ASFALTOS-LAB DISEÑO

GUIA TDM ASFALTOS :
CLIENTE:

REFERENCIAS: EXPEDIENTE MP. 003 - 2016 - LAB TDM ASFALTOS.
TANQUE:
LOTE DE PRODUCCIÓN: MINIPLANTA
CANTIDAD: 01 GALON
FECHA DE PRODUCCIÓN: 06/04/2016

CINTILLO DE SEGURIDAD Nº:

ENSAYOS SOBRE EMULSIÓN	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL,25 ºC	D 7496	ssf	20	100	44
DESTILACION	D 6997				
- CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL	D 6997	%	62	-.-	62.5
- CONTIENIDO DE DISOLVENTES	D 6997	%	-.-	-.-	0
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24 horas, %	D 6930	%	-.-	1	1
PRUEBA DEL TAMIZ Nº 20	D 6933	%	-.-	0.1	0
CARGA DE PARTÍCULA	D 7402		POSITIVA		POSITIVA

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE EMULSIÓN					
PENETRACIÓN, 25°C, 100 g, 5 s	D 5	dmm	40	90	65
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D 36	°C	57	-.-	57.2
DUCTILIDAD, 25°C, 5 cm/min	D 113	cm	40	-.-	66
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D 2042	%	97.5	-.-	99.85

OBSERVACIONES: El producto cumple especificaciones de calidad
Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada
PE:1.00
* Norma Española

Fuente: TDM – ASFALTOS 2016.

En la figura 5-3, se observa el certificado de la emulsión, el tipo de emulsión a usar es la EMULTEC CQS – 1 HP, la emulsión catiónica de ruptura controlada con polímeros, la cual cumple con los requerimientos establecidos por el ISSA.

5.5. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ESPECIALES DE LABORATORIO

Se mencionó anteriormente, que para que el micropavimento tenga un correcto desempeño, se debe realizar de manera cuidadosa el diseño teórico de laboratorio. A

esta fase corresponde los ensayos en laboratorio, aquellos que miden desempeño. A continuación, se muestra el lugar donde se realizó el diseño de la emulsión asfáltica.

Figura 5-4: Laboratorio de control y diseño de la emulsión asfáltica.



Fuente: Propia 2016.

En la figura 5-4 se puede observar, parte del laboratorio de TDM en el cual se realizarán los ensayos. En esta área se realizan los ensayos de control de calidad y diseño de la emulsión asfáltica. Donde se deberá cumplir con las especificaciones y estándares de la normativa para garantizar un producto de calidad. Los equipos y normativa de estos son presentados en el capítulo 3.

5.6. DISEÑO EN LABORATORIO DE MICROPAVIMENTOS

Para poder realizar el diseño de laboratorio del micropavimento es necesario seguir una serie de procesos. En primer lugar, se debe realizar el adecuado estudio y selección de canteras para no tener futuros problemas con la calidad del agregado, el cual debe ser cien por ciento chancado.

Una vez que se elige la cantera a usar para el diseño y la ejecución de obra, se realiza la caracterización de los agregados en obra. Esta caracterización ya se realizó en el capítulo 5.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO, donde se presentan los resultados y el análisis de acuerdo a la normatividad de las exigencias del agregado para micropavimentos.

Consecuentemente, se realizan las pruebas de diseño de laboratorio, con el cual se busca optimizar la cantidad óptima del residuo asfáltico en la mezcla de micropavimento, lo cual se puede realizar en base a los dos criterios de diseño (Criterio de las áreas y Criterio de la intersección). En este contexto, se busca explicar estos dos para la optimización del cemento asfáltico y mejorar las propiedades de la mezcla de micropavimento.

Finalmente, se debe realizar la prueba de verificación (SCHULZE BREUER AND RUCK - ISSA TB 144), esta prueba mide la afinidad y/o compatibilidad entre la emulsión y el agregado. Es la prueba definitiva de diseño, ya que si esta prueba no llega a cumplir las exigencias de la norma ISSA TB 144, el diseño en su totalidad es rechazado. A continuación, en la figura 5-5 se muestra un mapa resumen del procedimiento de diseño.

Figura 5-5: Procedimiento de diseño del micropavimento



Fuente: Propia 2016.

En la figura 5-5, se encuentra resumido el procedimiento de diseño y la norma con la cual se debe evaluar. Sin embargo, existen algunas pruebas adicionales las cuales se mencionaran con mayor detalle en los siguientes párrafos.

5.7. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

5.7.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

El primer paso para el diseño de micropavimentos es la elección y caracterización del agregado y los componentes de la mezcla. La caracterización se realizó en base a pruebas de granulometría, equivalente de arena, azul de metileno y peso específico del

agregado. A continuación, se presenta una tabla con los resultados obtenidos para cada prueba de laboratorio.

Tabla V -7: Procedimiento de diseño del micropavimento

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
GRANULOMETRÍA (ASTM C 136)	TIPO III	OK
EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)	MÍNIMO 65%	76%
AZUL DE METILENO (ISSA TB 145)	---------	9.0 mg/gr
PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)	---------	1763 Kg/m^3

Fuente: Propia 2016.

En la tabla V-7, se puede observar el tipo de ensayo de laboratorio, la norma que se utilizó para la prueba, la especificación de la norma ISSA para micropavimentos y el resultado obtenido en laboratorio. Se puede concluir que la caracterización del agregado arroja valores satisfactorios que se encuentran en el rango establecido en la norma.

5.7.2. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO

Una vez obtenido la caracterización del agregado y la selección de los materiales a usar en el diseño de micropavimentos, se inician las pruebas de laboratorio para el diseño.

5.7.2.1. CONTENIDO TEÓRICO DE EMULSIÓN – MÉTODO DE LAS ÁREAS SUPERFICIALES

Para tener una primera aproximación del contenido de cemento asfáltico y emulsión asfáltica en la mezcla de micropavimento se utiliza la metodología de Áreas superficiales, el cual determina la cantidad teórica de residuo asfáltico en base a la

gradación del agregado. Es decir, se obtiene un contenido de emulsión necesaria para cubrir la superficie específica del agregado cien por ciento chancado. Para determinar la superficie específica necesitamos la gradación del agregado, el cual se obtiene del ensayo de granulometría:

Tabla V-8: Granulometría del agregado Tipo III.

MALLAS	% PASA	% RET.
3/8"	100.00	0.00
N° 4	76.00	24.00
N° 8	51.00	49.00
N° 16	35.00	65.00
N° 30	25.00	75.00
N° 50	16.00	84.00
N° 100	10.00	90.00
N° 200	3.00	97.00
> N° 200	0.00	100.00

Fuente: Propia 2016.

En la tabla V-8, se observa la granulometría del agregado, que es usada de acuerdo a la formulación del método se obtiene la superficie específica:

Fórmula 5-1: Ecuación para determinar la superficie específica.

$$SE = \frac{1}{100} * (0.342 * G + 1.92 * g + 15.33 * k + 118 * f)$$

Fuente: Rivera, Gustavo 1997.

Donde:

G= % retenido entre las mallas 3/8 y Núm. 4

g= % retenido entre las mallas Núm.4 y 50

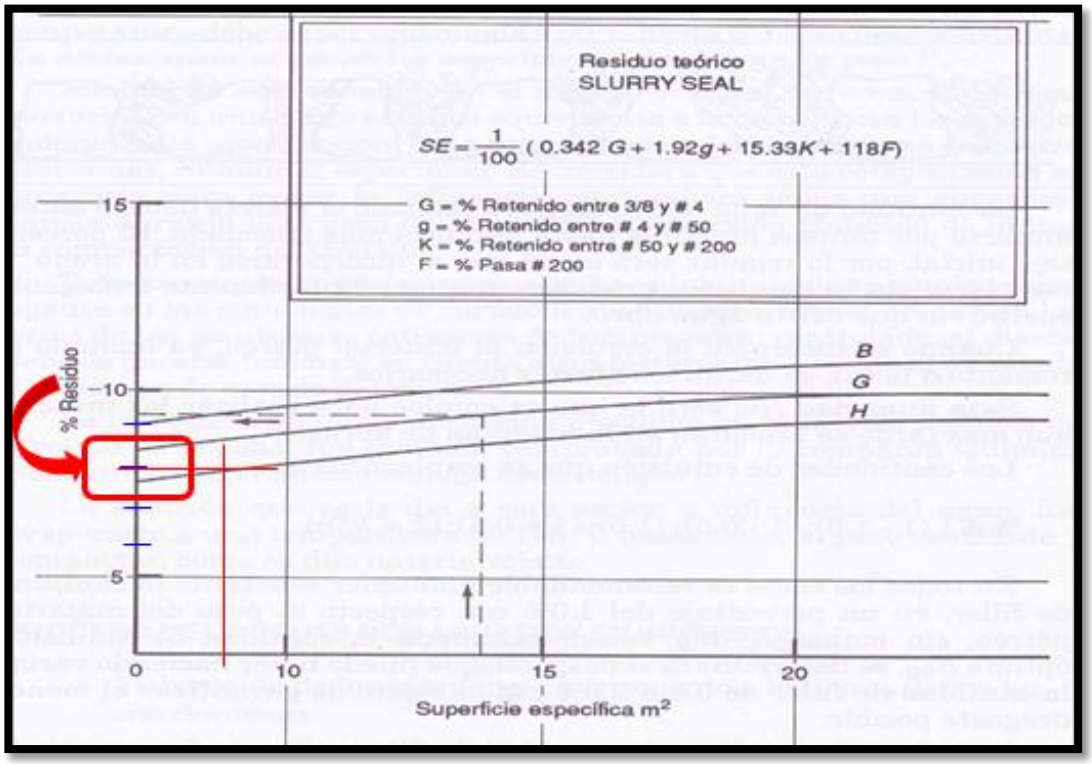
K= % retenido entre las mallas Núm. 50 y 100

f= % pasa la malla Núm. 200

$$SE = \frac{1}{100} * (0.342 * 14 + 1.92 * 60 + 15.33 * 9 + 118 * 6) = 5.69\, m^2$$

El siguiente paso es determinar el contenido teórico de residuo asfáltico, el cual se obtiene con ayuda al siguiente ábaco de la figura mostrada.

Figura 5-6: Contenido teórico de residuo asfáltico.



Fuente: FHWA 1994.

En la figura 5-6, se observa el ábaco, donde se obtiene:

$$\%Teórico\ Residuo = 8.00\%$$

Finalmente con ayuda de la siguiente formulación tenemos:

$$\%Teórico\ Emulsión = \frac{\%Residuo\ en\ la\ Mezcla}{\%Residuo\ en\ la\ Emulsión} \times 100$$

$$\%Teórico\ Emulsión = \frac{7.90}{62.5} \times 100 = 12.80\%$$

Para iniciar con el proceso de formulaciones del diseño de micropavimentos se utiliza esta primera aproximación del contenido teórico de emulsión asfáltica.

5.7.2.2. TIEMPO DE MEZCLADO

En base a la cantidad de emulsión obtenida, se inicia el proceso para encontrar las cantidades necesarias de cada componente del micropavimento. Esta prueba consiste en realizar continuas composiciones distintas de emulsión, agua, filler y aditivo de ser necesario. La norma ISSA TB 113 recomienda que el tiempo en que debe romper la mezcla de micropavimento debe ser mínimo 2 minutos y hasta un promedio de 3 minutos.

En base a las exigencias de la norma ISSA se hicieron varias pruebas con las siguientes características:

En la primera mezcla se consideraron las siguientes cantidades:

- Agregado fino: 200 gramos
- Cemento: 0.3%
- Agua aditivada: 5.0%
- Emulsión modificada: 13.0%

En esta prueba se mezclaron los componentes por alrededor de 10 minutos y aún no rompía adecuadamente.

En la segunda mezcla se consideraron las siguientes cantidades:

- Agregado fino: 200 gramos

- Cemento: 0.3%
- Agua sin aditivo: 5.0%
- Emulsión modificada: 13.0%

En esta prueba se mezclaron los componentes por alrededor de 4 minutos y aún no rompía adecuadamente, a los 7 minutos se vio indicios de rotura, sin embargo, aun el tiempo era elevado. Por lo tanto se continuaron con las pruebas para determinar las cantidades necesarias y adecuadas de la mezcla.

Finalmente luego de varias pruebas se consideraron las siguientes cantidades:

- Agregado fino: 200 gramos
- Cemento: 0.3%
- Agua sin aditivo: 5.0%
- Emulsión modificada: 12.8%
- Aditivo: 1.0%

En esta composición del micropavimento se obtuvieron resultados satisfactorios cumpliendo con que el tiempo de rotura sea aproximadamente 170 segundos.

5.7.2.3. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MICROPAVIMENTO

Para realizar las pruebas de desempeño es necesario en base a los ensayos ya realizados, determinar la cantidad necesaria de cada componente del micropavimento: emulsión, agua, agregado fino, filler y aditivo.

- Asfalto teórico (%): 8.00
- Emulsión Teórico (%): 12.80
- Agua (%): 5.0
- Aditivo (%): 1.0

- Cemento (%): 0.3

5.7.2.4. PRUEBA DE ABRASIÓN EN HÚMEDO (WTAT)

Esta prueba determina la resistencia a la abrasión de mezclas de micropavimentos relacionada con el contenido de asfalto, siendo ésta una de las dos pruebas que la ISSA utiliza para determinar el contenido óptimo de asfalto. El procedimiento a seguir es explicado en el capítulo 3, donde se obtienen los resultados de acuerdo al peso perdido y el factor obtenido de la máquina (el factor de esta máquina es 34.98). A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados de la prueba realizada

Tabla V-9: Prueba de Abrasión en Húmedo (WTAT).

ESPÉCIMEN	Und.	1	2	3
Emulsión	%	10.8	12.8	14.8
Asfalto Modificado con Polímero	%	6.8	8.0	9.3
Peso del Espécimen Inicial	g	1350.7	1371.7	1378.1
Peso del Espécimen Final	g	1341.7	1365.4	1373.3
WTAT	**g/m^2**	**314.8**	**220.4**	**167.9**

Fuente: Propia 2016.

La tabla V-9, presenta tres contenidos de emulsión distintos que fueron realizados para tres pruebas de abrasión en húmedo en simultáneo; el objetivo es obtener una curva que represente el comportamiento del micropavimento sometido a estas condiciones.

5.7.2.5. PRUEBA DE RUEDA CARGADA (LWT)

Esta prueba es usada para determinar el contenido máximo de asfalto y evitar excesos en el contenido de asfalto en los sistemas de morteros asfálticos y micropavimentos. Esto se logra mediante la medición de arenas finas especificadas previamente, que se adhieren al espécimen de una muestra que se encuentra bajo la acción de cargas simuladas de una rueda. La ISSA recomienda un valor máximo de adhesión de arena

de 0.540 kg/m² para vías de tráfico pesado.[147] Este ensayo de desempeño se realiza en tres muestras con contenidos de emulsión distintas al igual que la prueba de abrasión en húmedo. A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados de la prueba realizada.

Tabla V - 10: Prueba de Rueda Cargada (LWT).

ESPÉCIMEN	Und.	1	2	3
Emulsión	%	10.8	12.8	14.8
Asfalto Modificado con Polímero	%	6.8	8.0	9.3
Peso del Espécimen Inicial	g	629.0	648.2	656.8
Peso del Espécimen Final	g	633.2	653.1	662.8
Ancho	cm	3.9	3.8	4.0
Largo	cm	32.4	32.2	32.3
LWT	**g/m²**	**332.4**	**400.5**	**464.4**

Fuente: Propia 2016.

La Tabla V-10, presenta tres contenidos de emulsión distintos que fueron realizados para tres pruebas de rueda cargada en simultáneo; el objetivo es obtener una curva que represente el comportamiento del micropavimento sometido a estas condiciones.

5.7.2.6. CÁLCULO DE LA CANTIDAD ÓPTIMA DE EMULSIÓN

La cantidad óptima de residuo asfáltico se obtiene en base a las pruebas ya ensayadas en laboratorio. El contenido de emulsión óptima representa la cantidad que se requiere para la mezcla de micropavimento desde el punto de vista técnico y económico. Para poder determinar el Contenido Óptimo de Asfalto (COA) y la Cantidad Óptima de Emulsión (COE) se representó los datos necesarios resumidos en la siguiente tabla.

[147] Cfr. FHWA 2004: 19

Tabla V-11: Resultados de los ensayos WTAT y LWT

Asfalto Teórico (%)	Emulsión Teórica (%)	WTAT (g/m2)	LWT (g/m2)
4.69	7.50	562.16	210.85
6.75	10.80	314.80	332.40
8.00	12.80	220.40	400.50
9.25	14.80	167.90	464.40
11.13	17.80	167.70	552.37

Fuente: Propia 2016.

En la tabla V-11, se muestra los resultados de los ensayos de abrasión y rueda cargada. En base a estos resultados, se procedió al cálculo del contenido de residuo asfáltico óptimo. A continuación, en la siguiente tabla se muestran las especificaciones del ISSA.

Tabla V-12: Especificaciones de la Norma ISSA.

ENSAYO	MÉTODO	UNID.	VALOR	ESPECIFIC.
Tiempo de mezclado	ISSA TB 113	seg	120.00	Mínimo
Cohesión húmeda	ISSA TB 139	kg/cm	12.00	Mínimo 30 min
		kg/cm	20.00	Mínimo 60 min
WTAT	**ISSA TB 100**	**g/m^2**	**538.00**	**Máximo**
LWT	**ISA TB 109**	**g/m^2**	**538.00**	**Máximo**

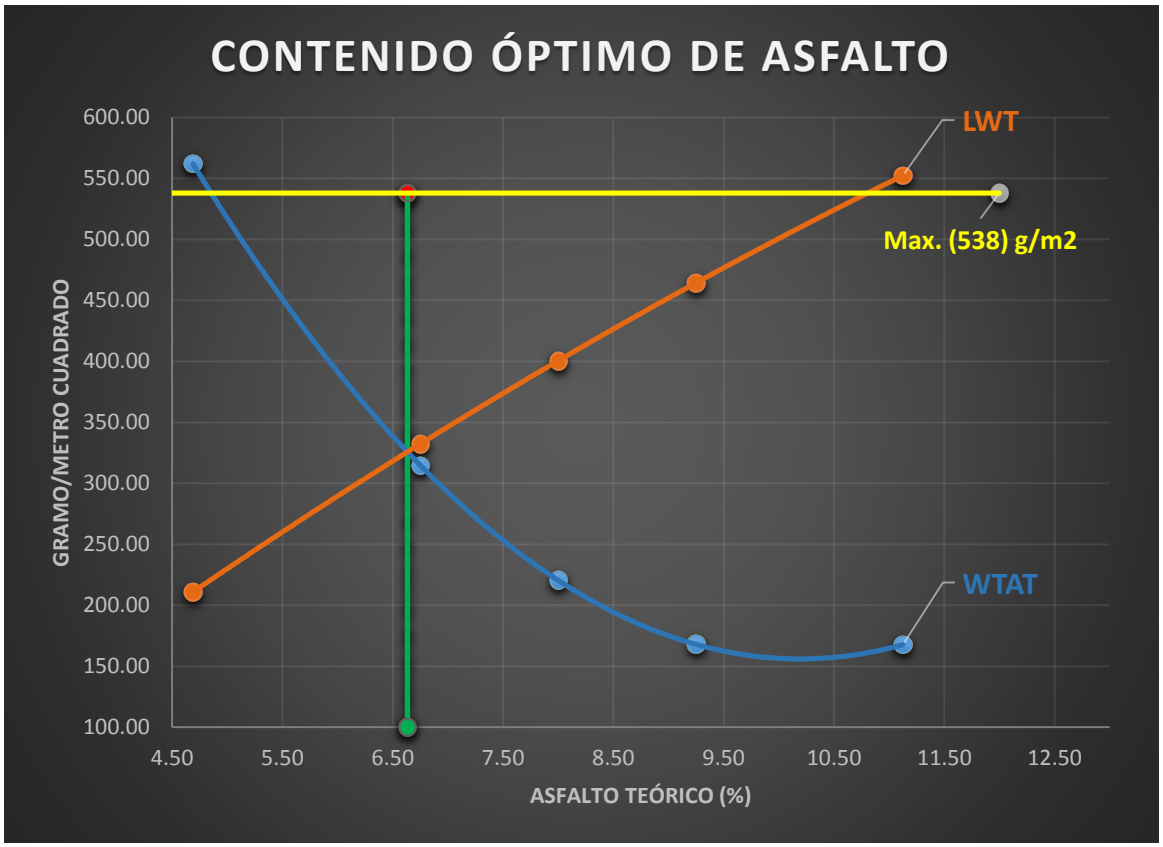
Fuente: Propia 2016.

En la tabla V-12, se observa los valores mínimos y máximos para cada ensayo; y con los valores que se tienen hasta ahora se puede realizar el cálculo de las cantidades óptimas de emulsión para los dos criterios.

5.7.2.6.1. CRITERIO DE LA INTERSECCIÓN DE CURVAS

Este criterio se basa en el cálculo de la cantidad óptima de cemento asfáltico en la intersección de las dos curvas formadas de los ensayos de Abrasión en Húmedo (WTAT) y Rueda Cargada (LWT). A continuación, se presenta la figura de las dos curvas y la intersección en donde recae el contenido óptimo del cemento asfáltico.

Figura 5-7: Contenido Óptimo de Asfalto – Criterio de la Intersección.



Fuente: Propia 2016.

En la figura 5-7, se puede apreciar que el contenido óptimo de asfalto para el caso de este diseño es de 6.63%, el cual se encuentra dentro del rango mínimo y máximo que recomienda la Norma ISSA. Por lo tanto, el diseño final del micropavimento de acuerdo al criterio de la intersección de curvas resulta ser el siguiente.

Tabla V-13: Resumen de Resultados – Criterio de la Intersección.

RESUMEN:				
Asfalto Óptimo COA (%)	Emulsión Óptima CEO (%)	Agua (%)	Aditivo (%)	Cemento (%)
6.13 - 7.13	9.80 - 11.40	5.00	1.00	0.30

Fuente: Propia 2016.

En la tabla V-13, de acuerdo a la experiencia de los especialistas y algunas recomendaciones de la norma ISSA, el rango de variación para el diseño de micropavimentos es de ± 0.5%, como se muestra en el porcentaje de asfalto y emulsión óptimo.

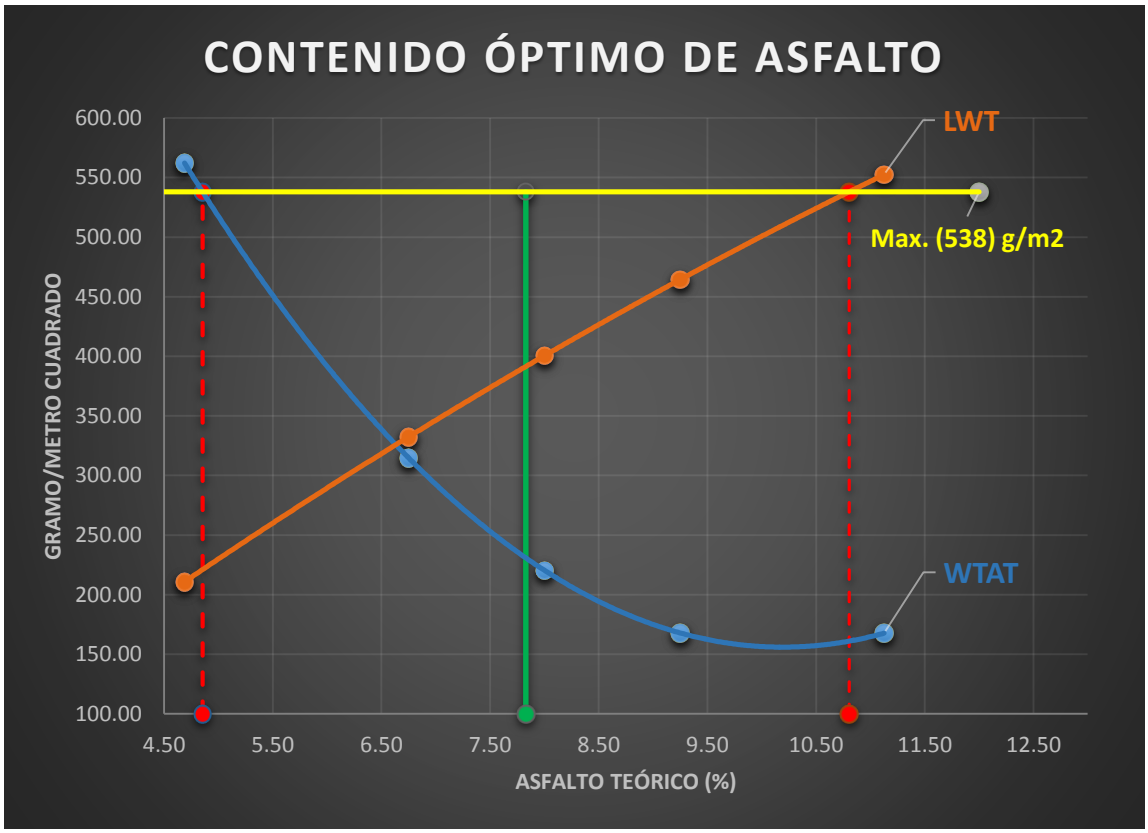
5.7.2.6.2. CRITERIO DE LAS ÁREAS EQUIVALENTES

El criterio de las áreas para calcular la cantidad óptima de residuo asfáltico se basa en intersectar las curvas de los ensayos Abrasión en Húmedo (WTAT) y Rueda Cargada (LWT) de acuerdo con las especificaciones máximas de la norma ISSA.

Una vez obtenido los puntos de intersección, se traza una perpendicular hasta intersectar al eje de las abscisas y de esta manera se forma un rectángulo con un área definida. El criterio de las áreas indica que se debe trazar una recta vertical que divida dicha área obtenida en partes iguales, la intersección de esta recta con la abscisa determinará el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

A continuación, se representa de manera gráfica el método de las áreas con y el resultado de la cantidad de cemento asfáltico óptimo:

Figura 5-8: Contenido Óptimo de Asfalto – Criterio de las Áreas.



Fuente: Propia 2016.

En la figura 5-8, se muestra las intersecciones de cada curva con la especificación de la norma ISSA (538 gr/m^2), y con ello se obtiene la curva vertical de color verde, el cual divide el rectángulo formado en áreas iguales.

Por lo tanto de acuerdo al criterio de las áreas se obtiene un contenido óptimo de residuo asfáltico de 7.83%, el cual se encuentra justamente en el centro de los valores del rango recomendado por la Norma ISSA. Finalmente, el resultado final del diseño por el método de las áreas queda resumido de la siguiente manera.

Tabla V-14: Resumen de Resultados – Criterio de las Áreas.

RESUMEN:				
Asfalto Óptima COA (%)	Emulsión Óptima CEO (%)	Agua (%)	Aditivo (%)	Cemento (%)
7.33 - 8.33	11.70 - 13.30	5.00	1.00	0.30

Fuente: Propia 2016.

En la tabla V-14, se muestran los resultados por criterio de las áreas, aplicando el rango de variación para el diseño de micropavimentos es de ± 0.5%.

5.7.3. PRUEBA DE VERIFICACIÓN

El paso final del diseño de laboratorio para micropavimentos es la prueba Schulze Breuer and Ruck - ISSA TB 144, el cual tiene la finalidad de encontrar la compatibilidad entre la emulsión y el agregado.

5.7.3.1. PRUEBA SCHULZE BREUER AND RUCK

Se desarrolla como una verificación final de compatibilidad entre los finos del agregado y residuo asfáltico. A continuación se presenta la tabla de resultados al realizar el ensayo de Schulze Breuer and Ruck, en el cual se puede apreciar que el ensayo en su totalidad se basa en pérdidas de pesos.

Tabla V-15: Resultados del Ensayo Schulze Breuer and Ruck.

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPATIBILIDAD SCHULZE BREUER AND RUCK

PRUEBA	P. Seco	P. Húmedo	P. Luego del Ensayo de Abrasión	P. Luego del Ensayo de Adherencia 30 min	P. Saturado Seco Después del Ensayo de Adherencia	Absorción (%)	Abrasión (g)	Adhesión (%)	Integridad (%)
01	40.65	41.57	41.15	40.93	40.77	2.26%	0.42	98.08%	98.46%
02	40.39	41.46	41.11	40.92	40.72	2.65%	0.35	98.22%	98.70%
03	40.48	41.41	41.13	40.96	40.74	2.30%	0.28	98.38%	98.91%
04	39.87	40.97	40.56	40.51	40.35	2.76%	0.41	98.49%	98.88%
05	40.00	40.95	40.65	40.74	40.48	2.38%	0.30	98.85%	99.49%
06	40.55	41.67	41.38	41.19	40.78	2.76%	0.29	97.86%	98.85%
07	39.95	41.38	41.03	40.97	40.56	3.58%	0.35	98.02%	99.01%
08	40.20	41.40	41.14	41.39	40.79	2.99%	0.26	98.53%	99.98%
Promedio	**40.26**	**41.35**	**41.02**	**40.95**	**40.65**	**2.71%**	**0.33**	**0.98**	**99.03%**

	Abrasión (g)	Adhesión (%)	Integridad (%)
Resultado	0.33	98.30%	99.03%
Puntaje	4	4	4
Grado	A	A	A

PUNTAJE TOTAL	ESPECIFICACIÓN
12	MÍNIMO 11 (AAA, BAA)

Criterio para clasificación

Grado 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	0.7 - 1.0	75 - 90	75 - 90
C	2	1.0 - 1.3	50 - 75	50 - 75
D	1	1.3 - 2.0	10 - 50	10 - 50
0	0	2.0 +	0	0

Fuente: Propia 2016.

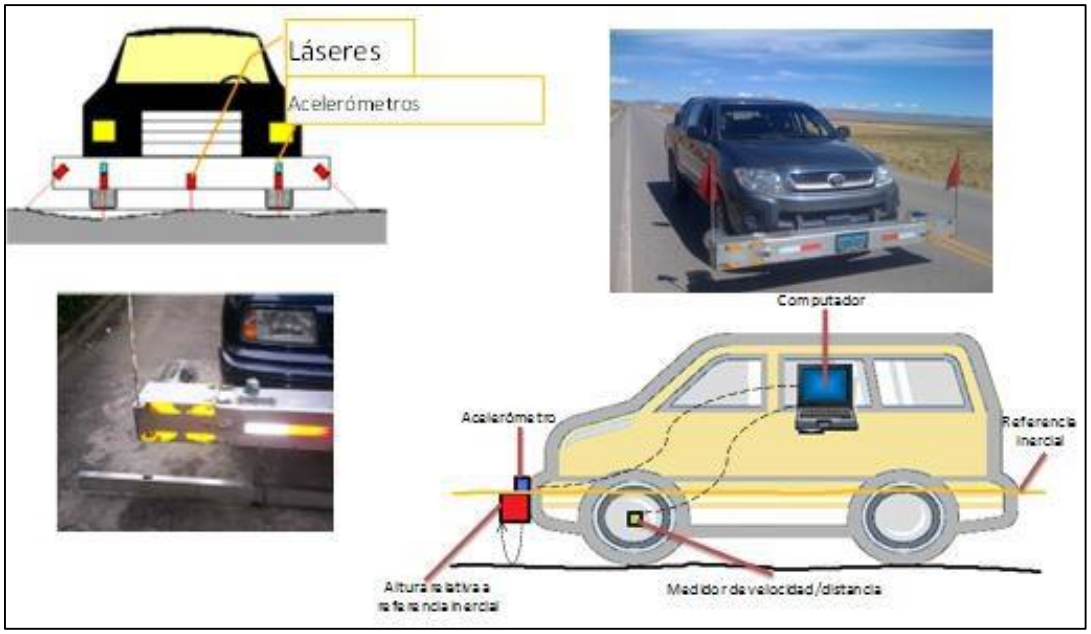
En la tabla V-15, se observa el resultado de la prueba final de compatibilidad, donde se obtuvo un puntaje total de 12, la cual es el máximo puntaje que se puede obtener. Por lo tanto, se concluye que el diseño de micropavimento para el agregado de la cantera Acaray es satisfactorio y cumple con toda la normatividad.

CAPITULO VI: ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1. DESEMPEÑO DEL MICROPAVIMENTO

El tramo analizado, como previa evaluación superficial, funcional y estructural realizada anterior a la colocación del micropavimento; se concluyó que lo que se buscaba era recuperar y fortalecer el tramo. Como parte de la investigación y para mostrar los beneficios que muestra el uso de micropavimentos, se realizará la comparación respecto al tema del desempeño funcional, pues el estructural no mostró inconvenientes en el estudio realizado y con respecto al tema superficial, se presentaron bajos niveles de daño, los que de igual manera fueron reparados en las actividades realizadas en la conservación rutinaria como parte del programa de conservación vial. Los estudios previos referente a la irregularidad longitudinal, expresada a través del índice IRI y de los resultados obtenidos en la realización del Inventario Vial Calificado 2014 con el soporte de equipo sofisticado, el Perfilógrafo Láser RSP-L5, mostrado en la Figura 6-1.

Figura 6-1: Curvas de los Ensayos de Desempeño.



Fuente: PCV 2014.

En la figura 6-1, se observa que la superficie del pavimento varía desde una condición regular hacia una condición buena, obtenidos a través del PSI: Índice de Servicialidad Presente, parámetro que representa el grado de seguridad o confort que siente el usuario al transitar por la vía.

6.1.1. ESTUDIO DE TRÁFICO

Complementariamente se muestra la evolución del tráfico, con datos extraídos de los últimos cuatro inventarios viales, que permite observar el incremento del IMD, y que conjuntamente con lo expuesto hacen necesaria una intervención funcional. A continuación, se muestra el estudio de tráfico.

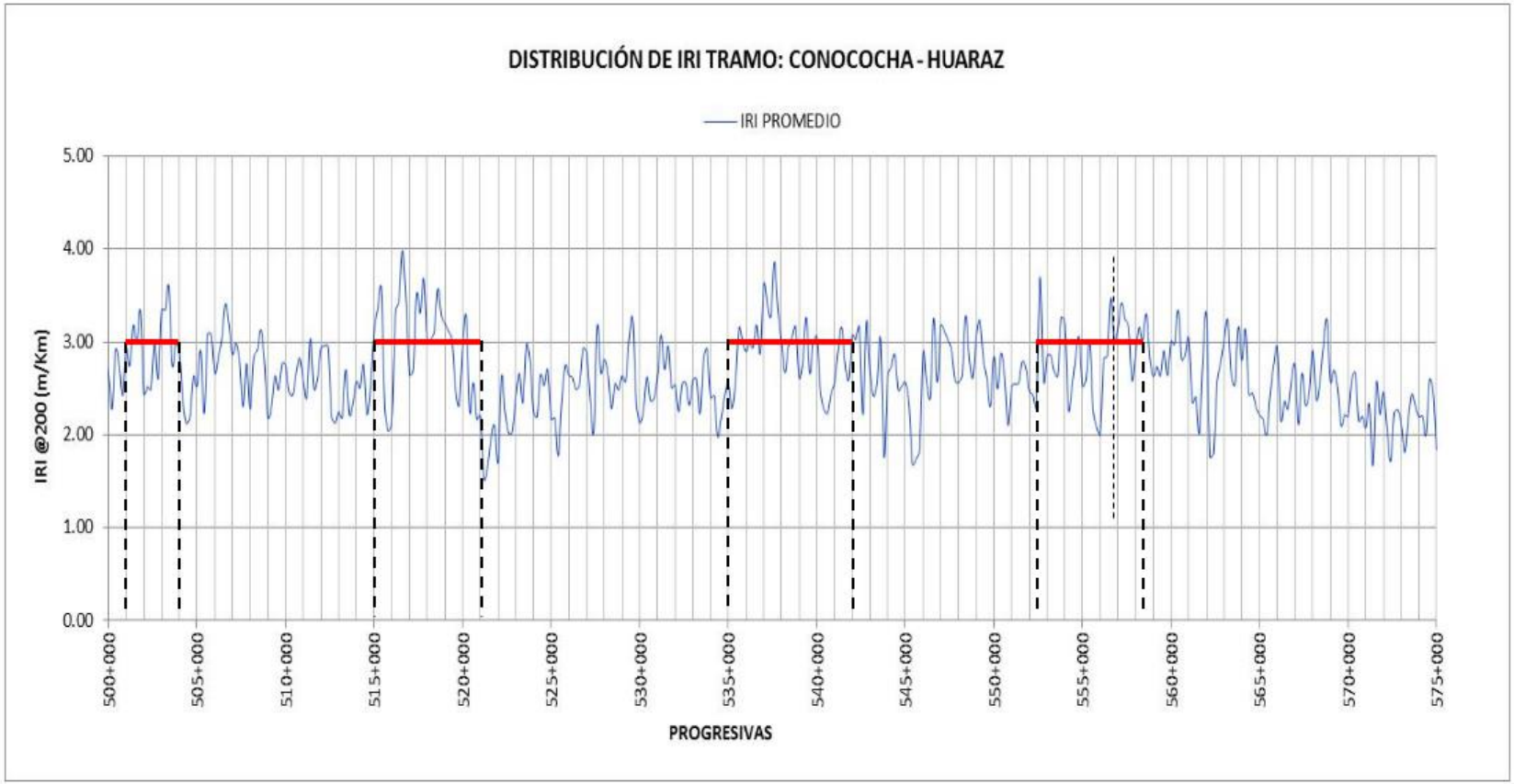
Tabla VI-1: Estudio de tráfico del proyecto vial.

N° de Estación	Nombre de la Estación	Ubicación	Ruta	Sentido	IMD (veh/día)				
					2010	2011	2012	2013	2014
E2	Conococha	122+100	16	Ambos sentidos	966	1168	1130	1043	1069
E3	Catac	542+550	3N	Ambos sentidos	981	1234	1419	1494	1500
E4	Ticapampa	548+100	3N	Ambos sentidos	2147	2073	2143	2246	2470

Fuente: PCV 2014.

En la tabla VI-1, se observa el estudio de tráfico, que se realizó en las rutas del proyecto vial durante los cuatros últimos años. A continuación, en la Figura 6-2, se muestra el IRI promedio por sectores cada doscientos metros.

Figura 6-2: Distribución de IRI tramo: Conococha- Huaraz



Fuente: PCV 2014.

6.1.2. METODOLOGÍA

El IRI es un parámetro de control de calidad superficial. Para carreteras ya en servicio, el Índice Internacional de Rugosidad es una herramienta para monitorear el comportamiento del camino en el tiempo, permitiendo fijar alertas para proceder a un estudio de los daños o para realizar las labores de mantenimiento de acuerdo a la importancia del camino. A continuación, se menciona la metodología a seguir para mejorar el IRI de los sectores a evaluar.

- Verificación de la operatividad del equipo MERLIN.
- Calibración del equipo, antes del inicio de las actividades de medición.
- Posicionamiento del Equipo MERLIN en el punto de inicio, por el borde del lado derecho e izquierdo de la vía.
- Toma de lecturas para una vuelta de giro completa de la llanta del MERLIN, evaluando cada 430 ml.
- Vaciado de datos en formatos.
- Cálculo de IRI por tramos y confección de la Hoja de Resumen.
- Gráfico de la variación del IRI evaluando el cumplimiento del nivel de servicio.

Como consecuencia a lo descrito anteriormente el Contratista Conservador plantea, en los subtramos arriba mencionados, una solución básica periódica para el Contrato Complementario, consistente en trabajos previos de bacheos superficiales y sello de fisuras (e>2 mm), para aplicar una segunda capa de mortero asfáltico (e=10 mm) más su respectiva demarcación horizontal, en cuatro sectores puntuales que suman 22 Km, que permitirán mejorar el grado de servicialidad al usuario al transitar por la vía.

El estado superficial de un camino incide directamente en algunos aspectos tales como:

- Costos de operación de los vehículos.
- Calidad de manejo, confort.

- Seguridad de los usuarios al transitar por las carreteras.
- Las cargas dinámicas que transmiten los vehículos, que a su vez afectan al pavimento.

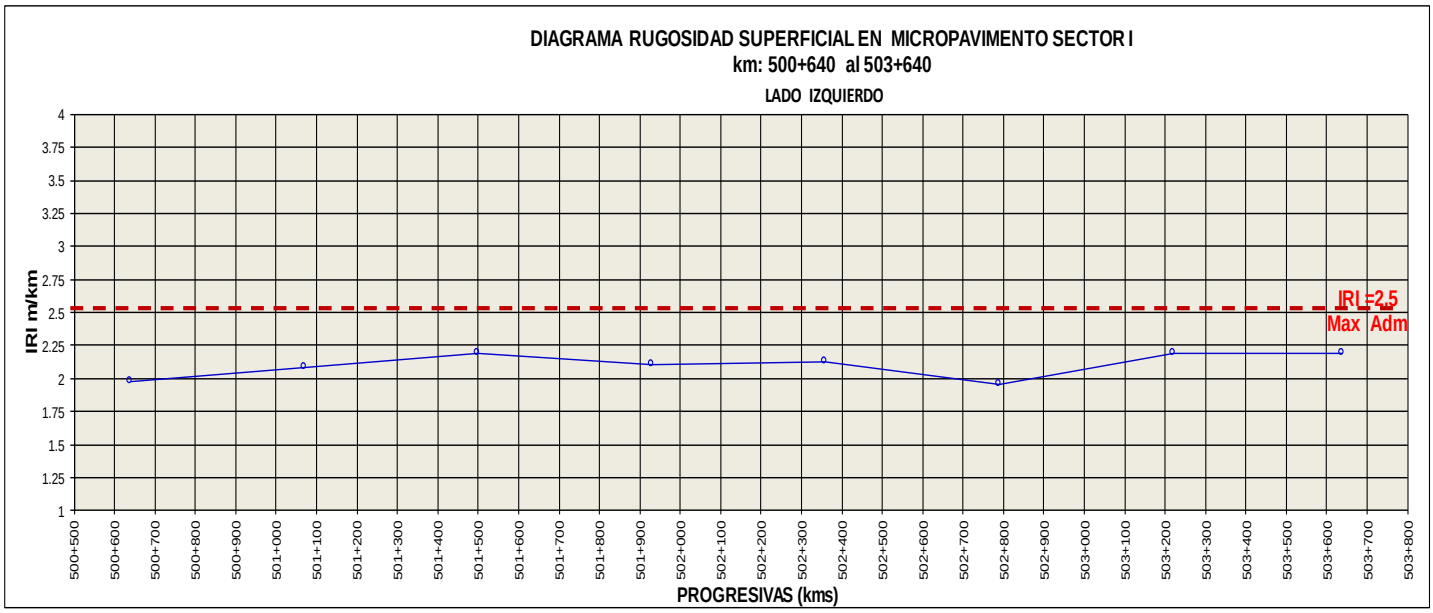
Las características involucradas en el IRI son las siguientes:

- EI rango de la escala del IRI para un camino pavimentado va de 0 a 12 m/km, donde 0 marca el valor de una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable.
- Debe acotarse que, para una superficie con pendiente constante, sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente, como tal, no influye en el valor del IRI, a diferencia de los cambios de pendiente que sí afecta el IRI.

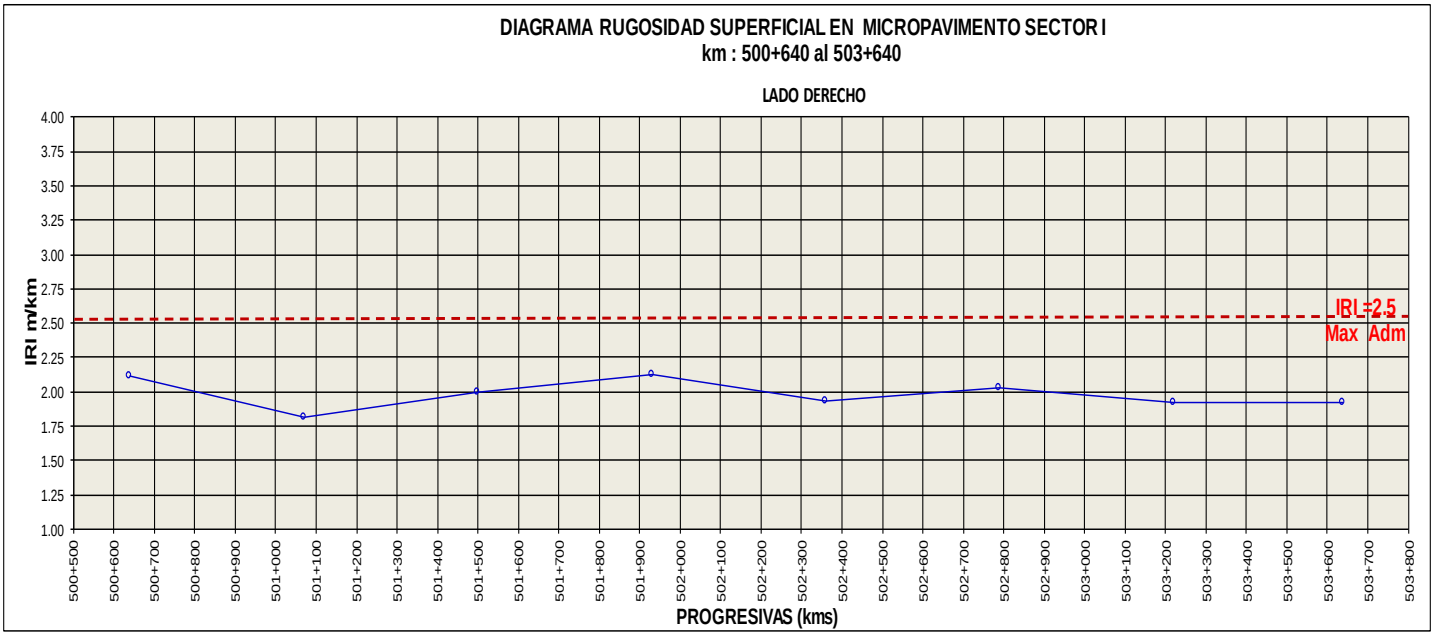
La capa de rodadura de una carretera posee una serie de características técnicas y funcionales, obtenidas a partir de criterios y especificaciones de construcción. Su estado depende de la calidad inicial, del desgaste o deterioro producido por el tráfico y del clima que rodea su entorno, que, entre otros, ocasionan la disminución de la calidad superficial de la vía.

Figura 6-3: Sector I: km 500+640 al km 503+640, lado izquierdo y derecho.

LADO IZQUIERDO



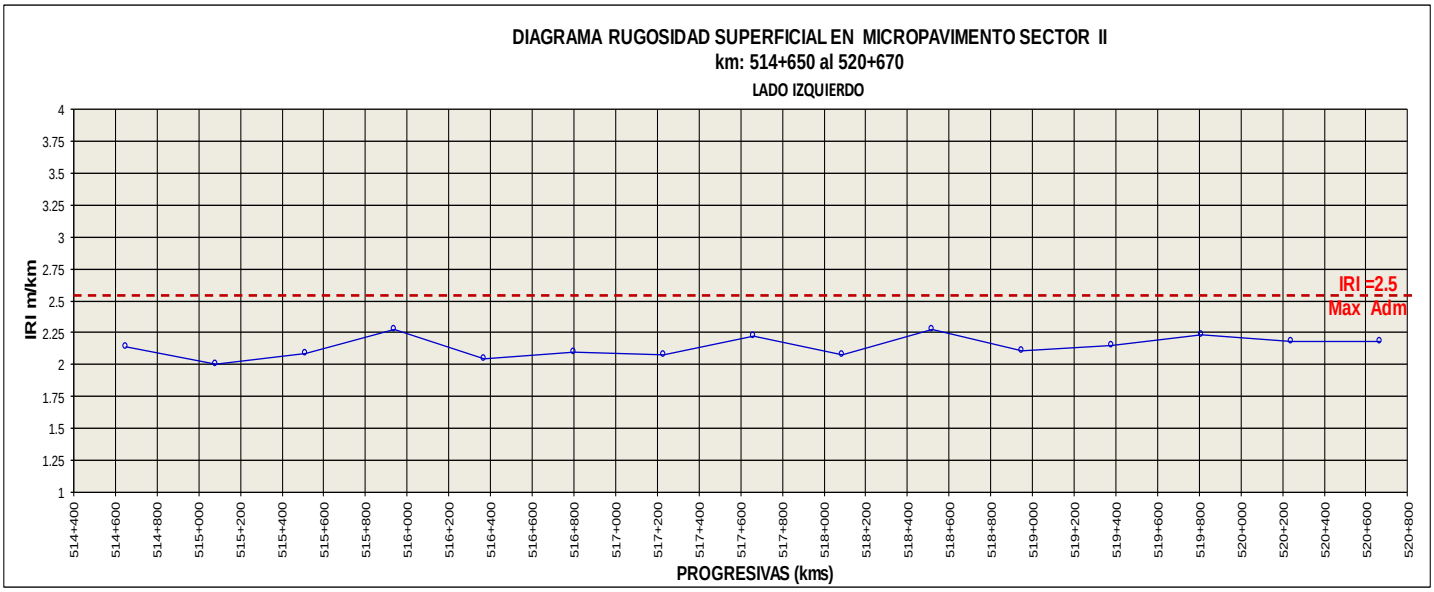
LADO DERECHO



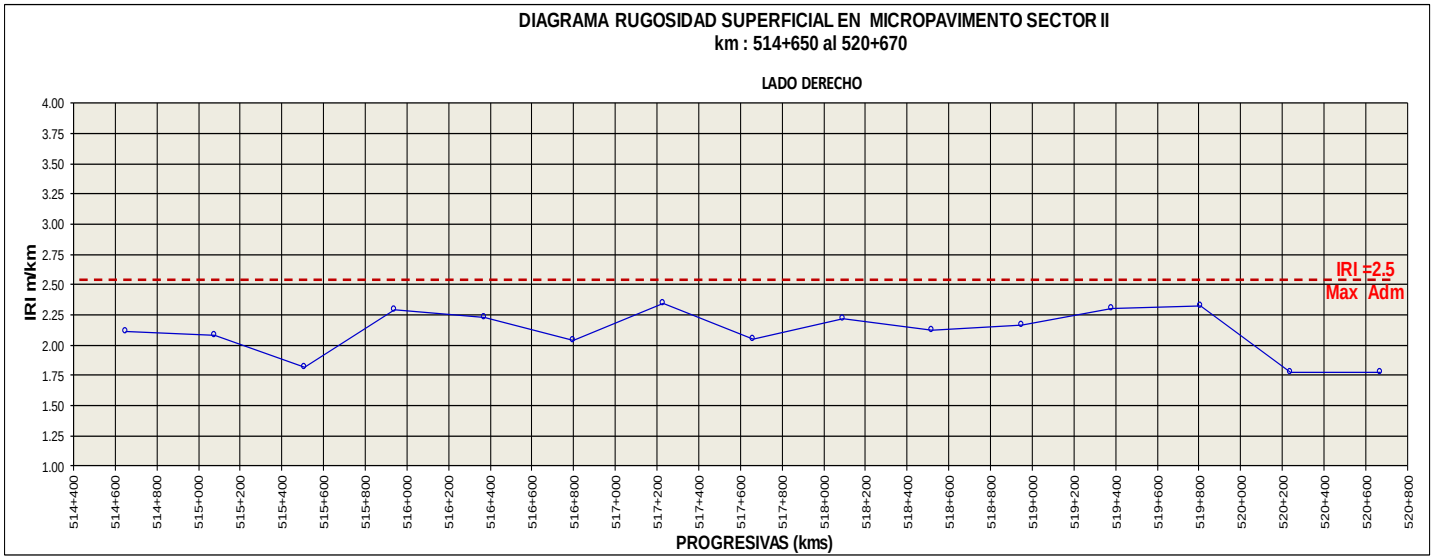
Fuente: PCV 2016.

Figura 6-4: Sector II: km 514+650 al km 520+670, lado izquierdo y derecho.

LADO IZQUIERDO



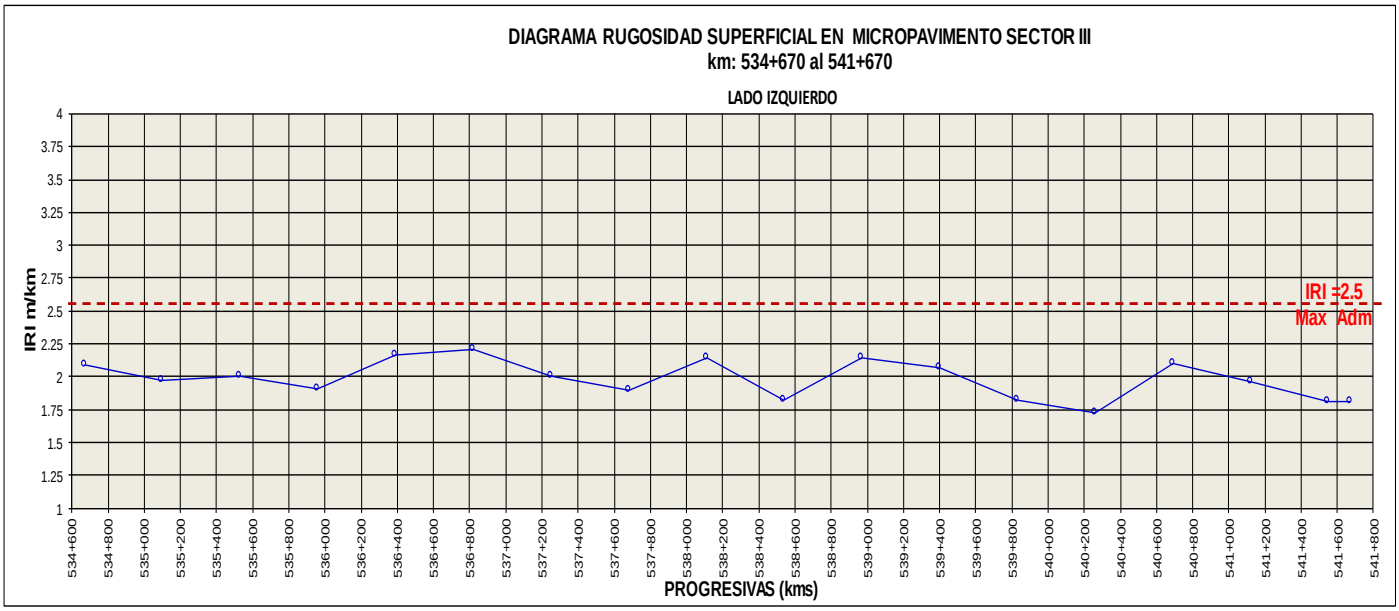
LADO DERECHO



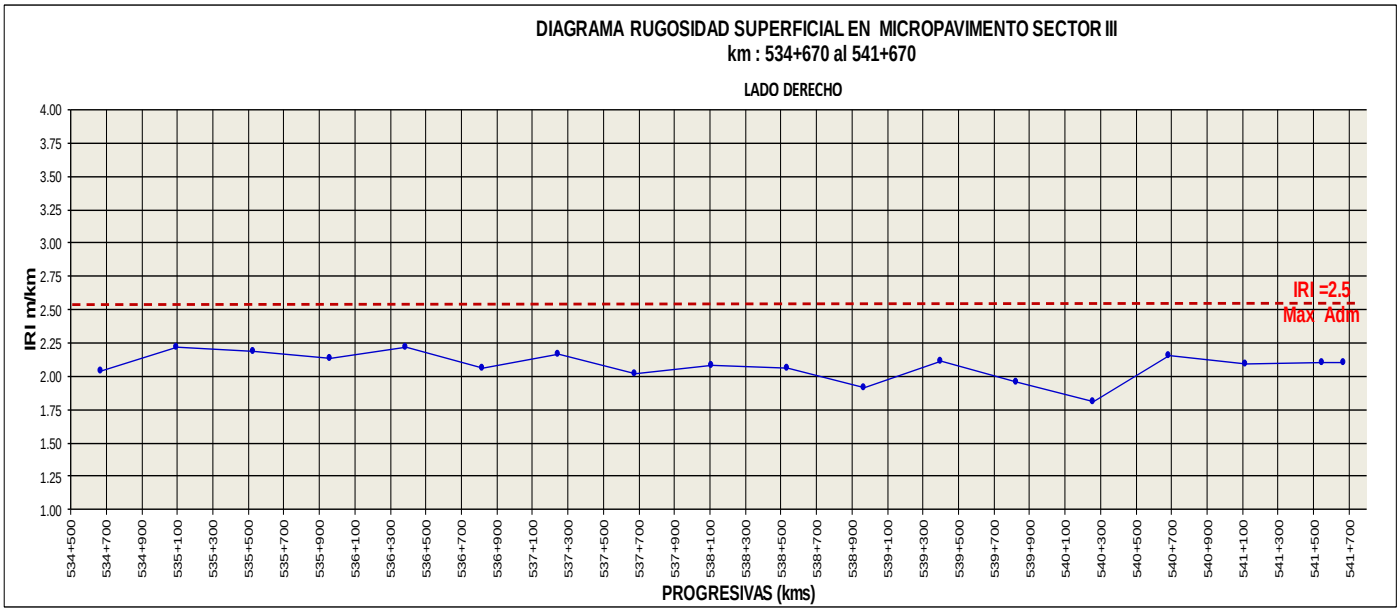
Fuente: PCV 2016.

Figura 6-5: Sector III: km 534+670 al km 541+670, lado izquierdo y derecho.

LADO IZQUIERDO



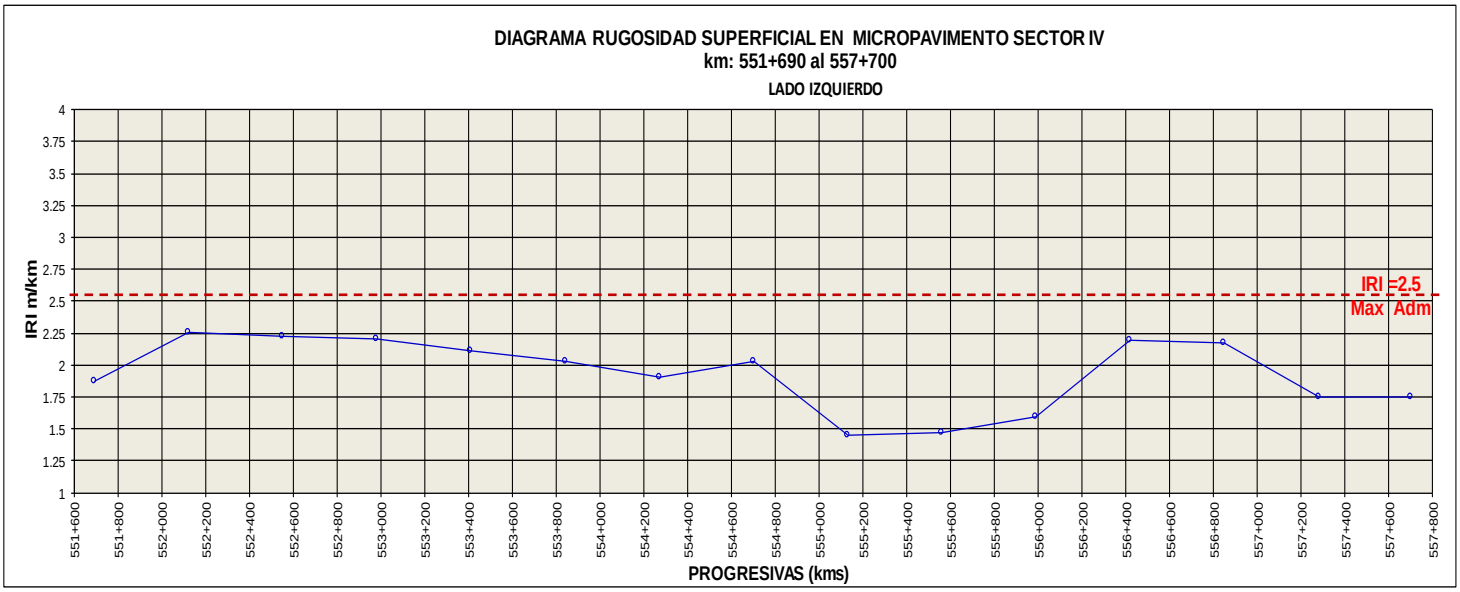
LADO DERECHO



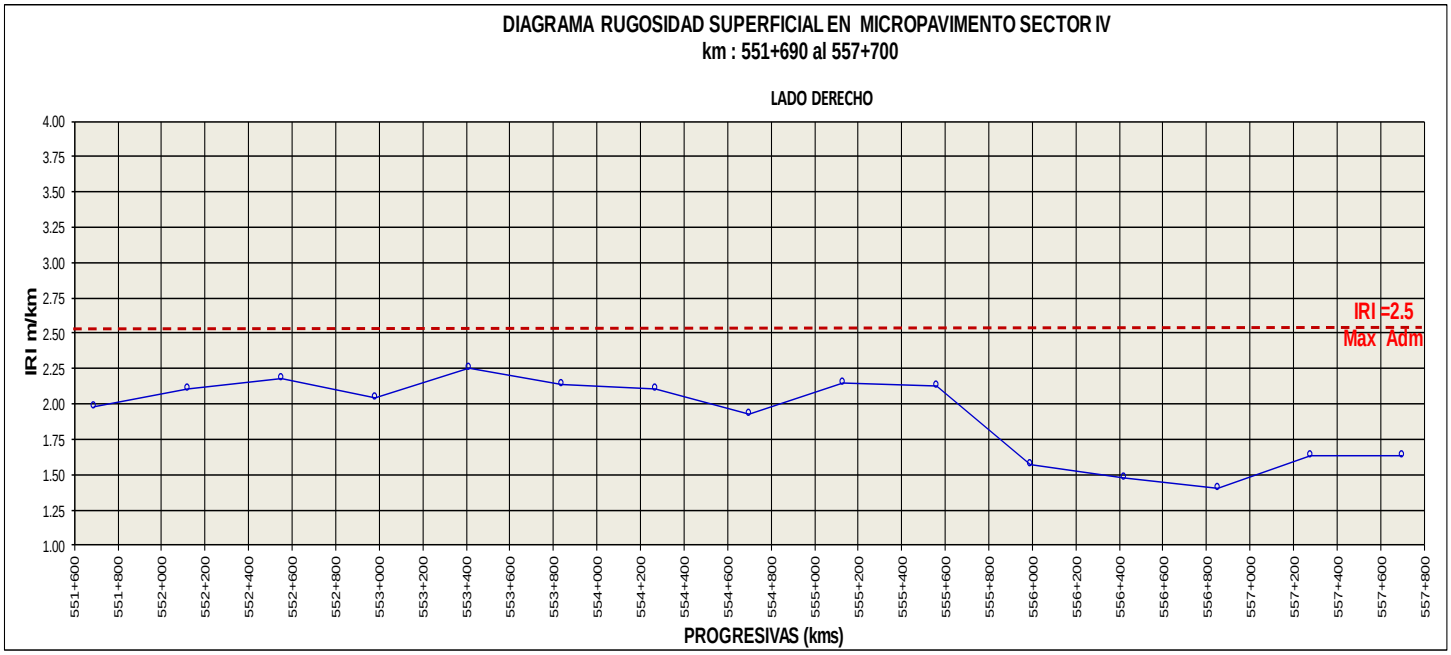
Fuente: PCV 2016.

Figura 6-6: Sector IV: km 551+690 al km 557+700, lado izquierdo y derecho.

LADO IZQUIERDO



LADO DERECHO



Fuente: PCV 2016.

En la Figuras 6-2, se observa que el IRI promedio en los cuatro sectores analizados es superior a 2.5 m/km. Sin embargo, una vez realizada las actividades de conservación periódica y rutinaria del contrato complementario de conservación vial, como se muestra

en las figuras 6-3, 6-4, 6-5 y 6-6, el IRI promedio cumple con los niveles de servicio en rugosidad superficial.

6.2. ANÁLISIS DEL DISEÑO TEÓRICO DE MICROPAVIMENTO

El éxito de los micropavimentos se obtiene como consecuencia de los tres pilares explicados en el capítulo 3: materiales de alta calidad, diseño competente y el procedimiento constructivo. En este sentido, se analizará los resultados obtenidos del diseño de laboratorio en base a los ensayos de desempeño, motivo por el cual se detallará lo correspondiente en la elección de los criterios de diseño para elegir el porcentaje de emulsión óptima.

El objetivo de este capítulo es demostrar la hipótesis planteada y así obtener una visión más amplia sobre el micropavimento y, la variación en sus propiedades, a consecuencia de la elección de la cantidad de la emulsión óptima, ya sea por el criterio de las áreas o por el criterio de la intersección.

6.2.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

A continuación, se presenta una breve descripción sobre el procedimiento de diseño adoptado de la Norma ISSA para tener un concepto más claro y sintetizado:

Antes de realizar el diseño de laboratorio, se realizó un estudio de la cantera de agregados. En este punto se tuvo que analizar la viabilidad técnica y económica de la cantera, además, para poder seleccionar adecuadamente la cantera se deben realizar pruebas de campo para caracterizar el agregado y, comparar con las exigencias de la Norma ISSA. Se podrá seleccionar una cantera como viable, sí solo sí, el agregado cumple con los requisitos de la Norma y, si económicamente es el más apropiado.

Una vez seleccionado la cantera de agregados, se envía una muestra de dicho agregado al laboratorio de diseño para que puedan determinar los componentes del micropavimento.

Ya en el laboratorio se realiza la caracterización geotécnica del agregado para verificar que se cumplan con los requisitos de la Norma, en caso no se cumpla se deberán tomar acciones de acuerdo a la decisión que tomen los especialistas. Los ensayos para caracterizar el

agregado generalmente son: granulometría, equivalente de arena, azul de metileno y el peso unitario.

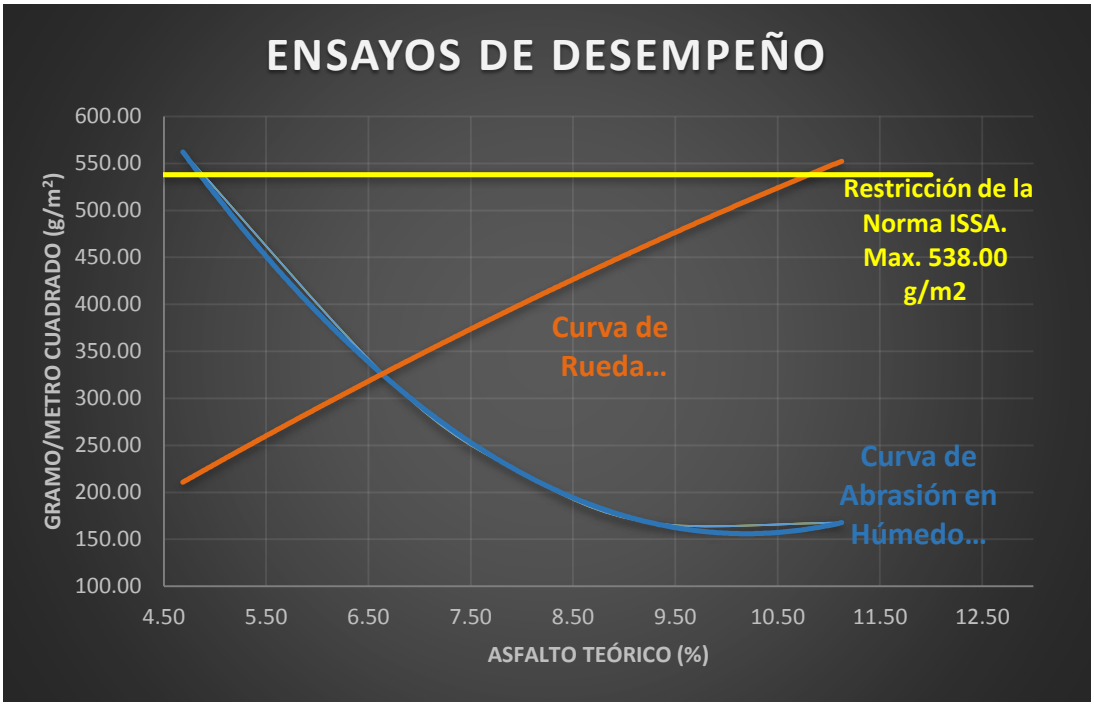
Con las características granulométricas del agregado se obtiene una superficie específica y en base a ello un contenido de residuo asfáltico teórico. Este proceso se realiza antes de iniciar con las pruebas de desempeño del micropavimento y es la base de las iteraciones a realizar para encontrar el diseño óptimo de laboratorio.

Previo a los ensayos de desempeño en laboratorio se realizan pruebas estipuladas en la norma ISSA para encontrar cantidades relativamente óptimas de los componentes del micropavimento. Los ensayos más recurrentes son: el ensayo de consistencia (conocido como cono de Kansas, para determinar la cantidad de agua y trabajabilidad de la mezcla) y el ensayo de tiempo de mezclado (se ensayan diseños para que puedan romper en más de 180 segundos).

Al obtener un diseño adecuado para la mezcla, se precede con los ensayos de desempeño para obtener la cantidad de emulsión óptima en el micropavimento. A la cantidad de residuo asfáltico elegido se suman y restan 2% de cemento asfáltico, se realizan los ensayos de rueda cargada y abrasión en húmedo para las tres cantidades residuo respectivamente.

Los resultados de los ensayos de desempeño se grafican y se intersecta con la restricción de la norma ISSA. A continuación, se presenta el gráfico de las curvas representativas para los ensayos de desempeño, la cual mide el comportamiento del micropavimento de acuerdo a una cantidad definida de residuo asfáltico.

Figura 6-7: Curvas de los Ensayos de Desempeño.



Fuente: Propia 2016.

En la figura 6-7 la línea superior amarilla representa el límite que la norma ISSA plantea para los ensayos de desempeño (ISSA TB 100, ISSA TB 109), el cual es de un valor máximo de 538 mg/m^2.

La línea naranja representa el Ensayo de Rueda Cargada (Loaded Wheel Test - LWT) acotado por la línea amarilla, el cual representa el máximo porcentaje de residuo recomendado por la norma para evitar excesos de asfalto en el micropavimento.

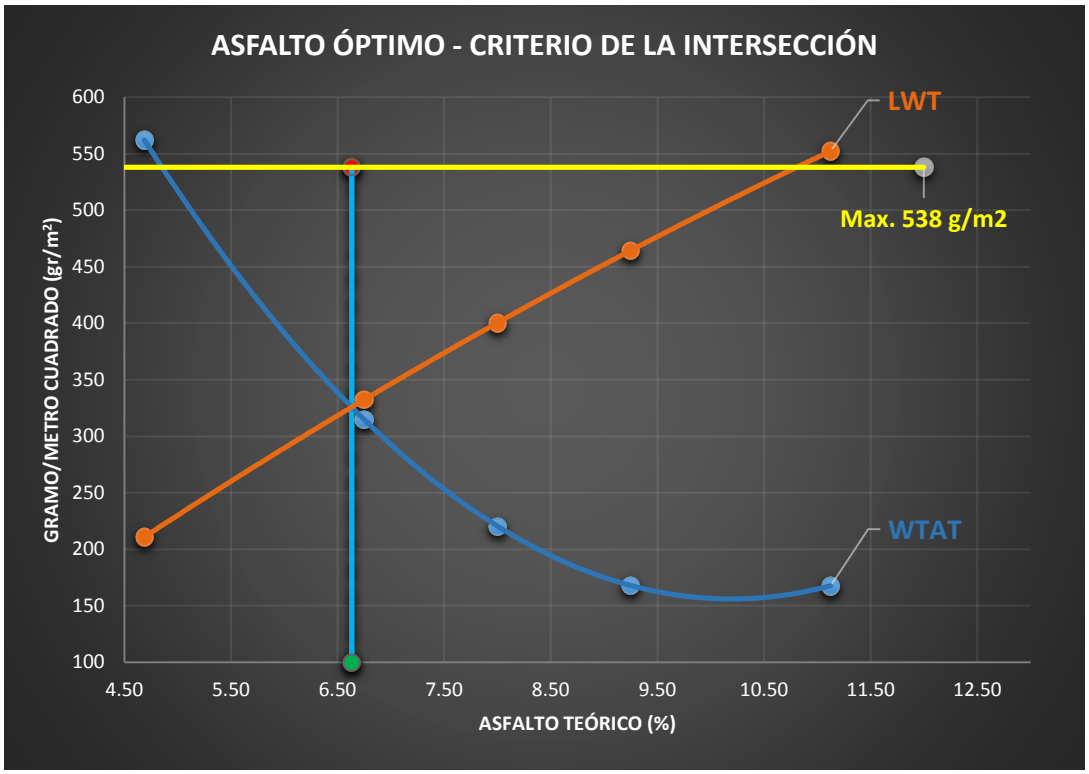
La línea azul representa el Ensayo de Abrasión en Húmedo (Wet Track Abrasion Test - WTAT) acotado por la línea amarilla, el cual representa el contenido mínimo de residuo recomendado por la norma.

El cálculo de la emulsión óptima se realizó en el capítulo anterior, en el cual se presentaron los dos criterios que fueron considerados por la Norma ISSA A143. Los criterios para la evaluación y elección de la cantidad de emulsión óptima en el micropavimento son: el criterio de las áreas (promedio) y el criterio de la intersección.

6.2.1.1. ENSAYOS DE DESEMPEÑO PARA EL DISEÑO DE MICROPAVIMENTOS

Para verificar la variación de las propiedades del micropavimento para los diseños que contemplan cada una de las dos cantidades óptimas de emulsión se vuelve a analizarlos utilizando como herramienta los ensayos de desempeño. A continuación, se presenta los resultados gráficos de las cantidades óptimas de residuo asfáltico desarrollado en el capítulo 5 para cada uno de los criterios analizados:

Figura 6-8: Diseño Óptimo por el Criterio de la Intersección.

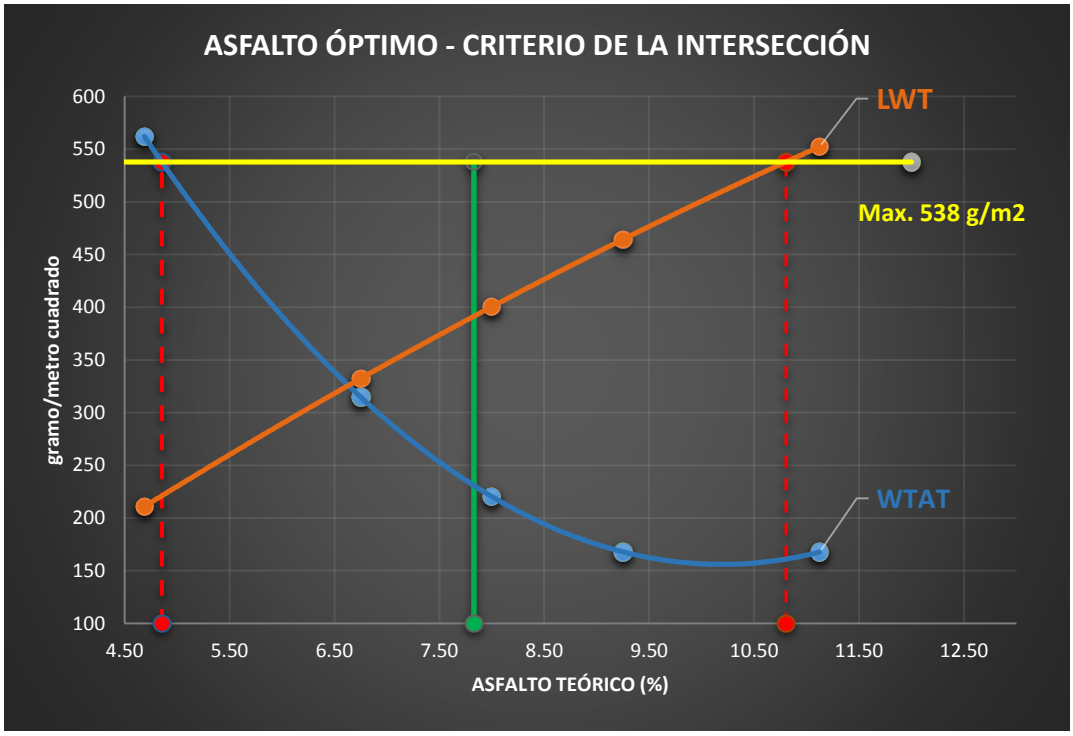


Fuente: Propia 2016.

En la figura 6-8, se presenta la distribución de las curvas de los ensayos de desempeño (LWT y WTAT), las cuales fueron obtenidas en base ensayos con diferentes porcentajes de residuo asfáltico. La línea vertical de color verde representa el contenido de residuo asfáltico óptimo de acuerdo al criterio de la intersección.

En este caso en particular, se obtiene un contenido residuo asfáltico óptimo de 6.63%, el cual de acuerdo a las especificaciones de la norma y la experiencia de los especialistas de laboratorio puede variar en un rango de ± 0.5%.

Figura 6-9: Diseño Óptimo por el Criterio de las Áreas.



Fuente: Propia 2016.

En la figura 6-9, se presenta la distribución de las curvas de los ensayos de desempeño (LWT y WTAT), las cuales fueron obtenidas en base ensayos con diferentes porcentajes de residuo asfáltico. La línea vertical de color verde representa el contenido de residuo asfáltico óptimo de acuerdo al criterio de las áreas, la cual se obtiene de promediar los valores comprendidos entre las líneas punteadas de color rojo.

En este caso en particular, se obtiene un contenido residuo asfáltico óptimo de 7.83%, el cual de acuerdo a las especificaciones de la norma y la experiencia de los especialistas de laboratorio puede variar en un rango de ± 0.5%. Finalmente, los resultados obtenidos de la cantidad de residuo óptimo fueron los siguientes.

- Criterio de la Intersección: 6.6%

- Criterio de las Áreas: 7.8%

Como se puede apreciar la variación de la cantidad de residuo asfáltico no parece ser muy importante. Sin embargo, las propiedades del micropavimento son muy diferentes, ya que la emulsión a pesar de representar una pequeña fracción del micropavimento es el ligante que se encarga de unir a todas las partículas del agregado fino cien por ciento chancado. La emulsión actúa como ligante de toda la mezcla, es ahí donde radica su importancia, ya que una pequeña variación de la cantidad de emulsión asfáltica podría resultar en un comportamiento no esperado del micropavimento.

6.2.1.2. ENSAYOS DE DESEMPEÑO PARA CADA CRITERIO DE EVALUACIÓN DEL RESIDUO

En base a los resultados obtenidos sobre la cantidad óptima de residuo asfáltico para cada uno de los criterios analizados, se proceden con los ensayos de desempeño.

En la siguiente Tabla VI-1 se presenta los resultados del ensayo de Rueda cargada (LWT) para las cantidades óptimas de residuo asfáltico: criterio de la intersección - 6.6% y criterio de las áreas - 7.8%.

Tabla VI-2: Ensayo de Rueda Cargada - LWT.

INFORME DE ENSAYO
ENSAYO DE RUEDA CARGADA Y ADHESIÓN DE ARENA

Contenido de Asfalto Residual = 62.5%

ESPECIMEN	Und.	6.60%	7.80%
Emulsión	%	10.5	12.5
Asfalto Modificado con Polímero	%	6.6	7.8
Peso del Especimen Inicial	g	622.3	615.6
Peso del Especimen Final	g	626.3	620.5
Ancho	cm	4.0	4.0
Largo	cm	32.8	32.6
LWT	**g/m2**	**304.9**	**375.8**

Fuente: Propia 2016.

De igual manera en la Tabla VI-2 se presenta los resultados del ensayo de abrasión en húmedo para las cantidades óptimas de residuo asfáltico: criterio de la intersección 6.63% y criterio de las áreas 7.83%.

Tabla VI-3: Ensayo de Abrasión Húmedo - WTAT.

INFORME DE ENSAYO
ENSAYO DE ABRASION POR VIA HUMEDO

Contenido de Asfalto Residual = 62.5%

ESPECIMEN	Und.	6.60%	7.80%
Emulsión	%	10.5	12.5
Asfalto Modificado con Polímero	%	6.6	7.8
Peso del Especimen Inicial	g	1320.2	1365.6
Peso del Especimen Final	g	1309.2	1358.5
WTAT	g/m2	384.7	248.3

Fuente: Propia 2016

En las tablas VI 2 y 3 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de desempeño referidos a los contenidos de residuo óptimo de 6.6% y 7.8% correspondientes a los criterios de intersección y de las áreas respectivamente.

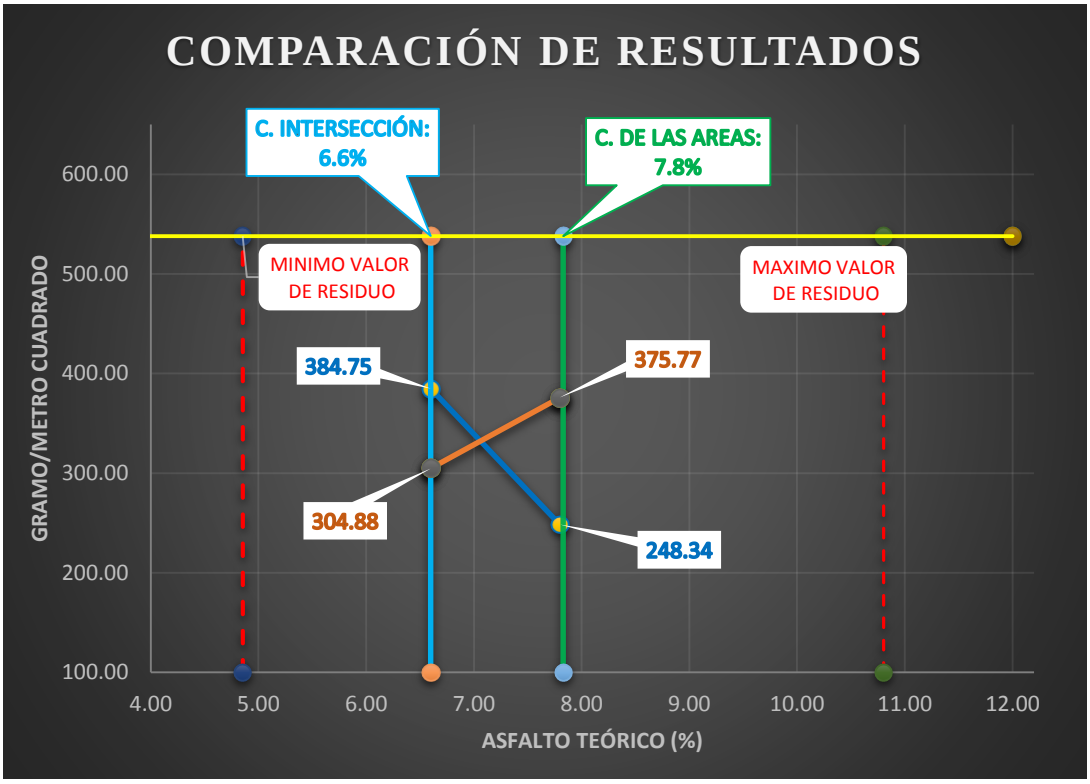
A continuación, se presenta los resultados obtenidos para un mejor entendimiento y visualización de la variación de los resultados en donde se encuentran los siguientes elementos:

Las líneas verticales rojas laterales representan los valores extremos recomendados por la Norma ISSA, es decir, el valor mínimo y máximo de residuo asfáltico que pudiera ser utilizado en circunstancias extremas.

La línea vertical celeste representa el valor usado en el criterio de la intersección (6.6%).

La línea vertical verde representa el valor usado en el criterio de las áreas (7.8%).

Figura 6-10: Comparación de los Resultados de Residuo Óptimo.



Fuente: Propia 2016.

En la figura 6-10, se analizó el Ensayo de Abrasión en Húmedo – ISSA TB 100, en donde se puede apreciar que al considerar el criterio de la intersección se obtiene una pérdida por abrasión en húmedo de 384.75 g/m^2. Por otro lado, en el criterio de las áreas se obtiene un resultado de 248.34 g/m^2 como pérdida de peso por la prueba de abrasión en húmedo. De esta manera, por diferencia de resultados se puede determinar que por el criterio seleccionado (criterio de las áreas) se obtiene menor pérdida de peso por abrasión (136.41 g/m^2), lo cual es bueno para la durabilidad e integridad del asfalto a lo largo de su vida útil. En caso de utilizar una cantidad baja de cemento asfáltico, se corre el riesgo de presentarse desprendimientos y desgaste prematuro en la zona micropavimentada.

En segundo lugar, se analizó el Ensayo de Rueda Cargada – ISSA TB 109, en donde se puede apreciar que al considerar el criterio de la intersección se obtiene como resultado de la adhesión de arena de 304.88 g/m^2. Por otro lado, en el criterio de las áreas se obtiene un resultado de 375.77 g/m^2 como resultado de la adhesión de arena debido a la prueba de Rueda Cargada. De esta manera, por diferencia de resultados se puede determinar que por

el criterio seleccionado (Criterio de las áreas) se obtiene mayor adhesión en peso por adhesión de arena (70.89 g/m^2), a lo cual la norma ISSA te restringe que la máxima adhesión de arena debe ser de 538 g/m^2. Esta prueba de desempeño nos ayuda a determinar la cantidad máxima de residuo, ya que si se considera el cemento asfáltico más de lo debido se corre el riesgo de que la mezcla falle por exudación o segregación. Es decir, con ayuda de la rueda cargada podemos definir un rango en el que no se tenga excesos de asfalto, lo cual también es dañino para la mezcla de micropavimento.

Los resultados obtenidos se encuentran dentro de las especificaciones de la norma ISSA. Sin embargo, el criterio de las áreas se distribuye de mejor manera a las especificaciones de la norma, ya que siempre se encontrará en medio de ellos y se podrá dar un margen de error o variación a la hora de la puesta en obra. Por el contrario, el criterio de la intersección tiene un resultado más aleatorio dependientes de la calidad y características del agregado fino. El criterio de la intersección puede estar muy pegado a los máximos o mínimos permitidos por norma, motivo por el cual se corre el riesgo de que existan problemas con el diseño de micropavimentos, ya que no presentan mucho rango en su utilización de cemento asfáltico.

Una característica fundamental de los contratistas encargados de ejecutar los proyectos es que para mantener la economía basan su diseño de obra para las mezclas de micropavimentos en el valor mínimo del rango. Por este motivo, es más preferible optar por el criterio de las áreas, ya que en cualquier caso se ubicará al centro de los rangos extremos. Por otro lado, al analizar los resultados de ambos criterios y entrevistarnos con un especialista en el tema de micropavimentos, el Ingeniero Jorge Escalante, se pudieron determinar problemas que se podrían generar:

Mientras la cantidad de residuo óptima se apegue a la cantidad mínima recomendada en la norma ISSA A 143, se corre el riesgo de sufrir el problema de desgaste prematuro o como se le conoce abrasión en húmedo. Por este motivo, en el diseño del presente proyecto específicamente, se observa que la cantidad de residuo óptimo es 6.6%, valor que parece ser muy por debajo de lo recomendado en los laboratorios, ya que ellos aconsejan que el residuo mínimo considerado debe ser superior al 7,0%.

Por otro lado, si la cantidad de residuo óptimo se acerca a la cantidad máxima de asfalto tolerable, se corre el riesgo de exudación y segregación de la mezcla de micropavimento debido al exceso de ligante utilizado. Estos problemas, afectan el comportamiento óptimo del micropavimento, lo cual en un tiempo menor al planificado la superficie de rodadura necesitará ser reemplazada o recubierta.

De esta manera podemos concluir que de acuerdo a los ensayos realizados, el comportamiento del micropavimento varía debido a la gran cantidad de variables que intervienen en la mezcla. Por lo tanto, se debe tener cuidado con la utilización del criterio de la intersección para determinar la cantidad óptima de residuo asfáltico, ya que en gran medida la variable más influyente es el agregado, el cual de acuerdo a sus características geotécnicas determina si la intersección representa la mayor o menor cantidad de residuo asfáltico.

En resumen, el criterio de la intersección se encuentra dentro del rango de la norma ISSO, pero hay que analizar bien los efectos que puede generar en la mezcla si se acerca a los rangos extremos exigidos, lo cual es variable para cada tipo de agregado.

En el criterio de las áreas equivalentes se encuentra en el rango promedio de la cantidad máxima y mínima de residuo respectivamente, por lo cual se encuentra en un valor más seguro desde el punto de vista técnico y económico, ya que no correrá el riesgo de sufrir un deterioro prematuro y tampoco de sufrir por un exceso de asfalto. De esta manera, también se asegura la economía, puesto que si se considera por debajo del residuo recomendado, se tendrían futuros gastos en reparaciones o mantenimiento; si por el contrario se quiere usar más asfalto para mejorar el comportamiento de la mezcla se corre el riesgo de sufrir ahuellamiento y exudación. Por lo tanto, en el punto medio es la zona más segura donde se puede considerar la cantidad óptima de residuo asfáltico para asegurar el adecuado comportamiento del micropavimento.

6.3. DIRECTRICES REFERIDAS AL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Como ya se mencionó en el capítulo 3, los buenos materiales y un diseño óptimo no son suficientes para garantizar el buen desempeño del micropavimento. El tercer elemento

fundamental para un buen micropavimento es el proceso constructivo, el cual debe ser realizado por personas debidamente capacitadas y la guía de un técnico o ingeniero especialista en el campo de los micropavimentos. La Federal Higwhay Administration, organización encargada de la construcción, mantenimiento y preservación de las carreteras, puentes y túneles de Norte América propone alcances de acuerdo a las experiencias y buenas prácticas recopiladas en varios estados.

Con referencia al procedimiento constructivo, se analizan ciertos factores fundamentales que pueden afectar el desempeño en campo del micropavimento en un corto o largo plazo.

6.3.1. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

De acuerdo a las recomendaciones del FHWA, el micropavimento no deberá ser colocado si la temperatura del pavimento o la temperatura ambiente son menores de 10° C, si está lloviendo o si hay un pronóstico de temperaturas por debajo de 0° C durante las 24 horas siguientes a su colocación. En clima frío el micropavimento puede grietarse o desintegrarse o si se coloca en un día muy caliente y seco, la superficie puede romper demasiado rápido, causando retención de agua retardando el curado interior. El clima caliente requiere un cambio de formulación para tiempos de mezclado más largos y permitir al micropavimento ser aplicado apropiadamente.[148]

De acuerdo a las condiciones de la sierra peruana, se proponen algunos alcances recopilados de los especialistas que trabajan en carreteras y específicamente con micropavimentos:

Debido a los climas fríos característicos de la sierra del Perú, se recomienda utilizar una planificación que considere un periodo de micropavimentación que no sea muy temprano y que tampoco se alargue mucho por la tarde. Por ejemplo, en el Tramo Conococha – Recuay, del proyecto analizado, el horario fijado para esta partida fue desde las 9:00 am hasta las 4:00 pm. De esta manera se pudo evitar los climas extremos que pudieron afectar el desempeño del micropavimento.

[148] Cfr. FHW 1994: 28

En ocasiones cuando pudiera surgir un cambio de clima abrupto se pude modificar la cantidad de filler o cemento portland tipo I para acelerar o retardar el tiempo de rotura del micropavimento. En este sentido, si el clima es menor de lo esperado, se puede aumentar el porcentaje de cemento en la mezcla para acelerar el tiempo de rotura. Por otro lado, si el clima es caluroso, se puede disminuir el cemento para retardar el tiempo de rotura de la mezcla de micropavimento.

Sin embargo, no se puede cambiar la cantidad de cemento en la mezcla de una manera aleatoria, ya que podría comprometer el desempeño general del micropavimento. Para ello, se debe estar en constante comunicación con los especialistas de laboratorio que realizaron el diseño.

6.3.2. CONTROLES DEL MICROPAVIMENTO EN CAMPO

Para asegurar la calidad de la mezcla de micropavimento se deben realizar controles de verificación de la calidad y performance a lo largo de todo el tren de trabajo. Y para ello se realizan pruebas de campo para los distintos componentes y además se realiza un tramo de prueba para ajustar el diseño del micropavimento a las condiciones reales y características de cada zona en particular.

6.3.3. TRAMO DE PRUEBA

Con el objetivo de identificar y definir todos los elementos necesarios para colocar la capa de rodadura con mezcla asfáltica en frío[149], se recomienda la construcción de un tramo de prueba, el cual servirá como base para la micropavimentación de toda la carretera.

En una entrevista con el Ing. Iván Bragagnini, especialista en el tema, se determinó que el tramo de prueba ayuda a identificar y definir aspectos como:

Calibración del diseño de laboratorio, el cual se refiere a que el diseño de laboratorio no es absoluto. De acuerdo al informe de diseño presentado por el laboratorio especializado en el tema, se cita textualmente que los valores obtenidos en laboratorio pueden ser variados ligeramente de acuerdo a las condiciones que se presenten en el proyecto.

[149] En este caso se refiere a la mezcla de micropavimento.

Determinación del tren de trabajo para poder evaluar el procedimiento constructivo y los equipos que se utilizarán a lo largo de toda la carretera que pertenece al proyecto. Dentro del tren de trabajo se deben determinar la cantidad de cuadrillas y los responsables de cada actividad.

Finalmente, se determinarán los controles necesarios para determinar la buena calidad del micropavimento y cumplir con los requisitos en base a los niveles de servicio establecidos en el contrato de conservación vial.

De acuerdo con la Norma Mexicana de Carreteras, el tramo de prueba puede realizarse en una longitud de cuatrocientos metros pertenecientes al proyecto. Para determinar si el tramo de prueba cumple o no con lo esperado, se comprobará su calidad cumpliendo con la normativa y con el contrato de conservación. En caso de que no se cumplan con los requerimientos mínimos exigidos, se volverá a realizar tramos de prueba hasta cumplir con el objetivo deseado.

El tramo de prueba se puede realizar en uno de los tramos del proyecto, el cual en caso de cumplir todos los requisitos necesarios podrá ser tomado en cuenta como parte del proyecto y formará parte para la valorización y pago.

6.3.4. VERIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUO ASFÁLTICO

Para verificar la cantidad de residuo asfáltico se utiliza una prueba conocida como lavado asfáltico, para tener una mejor comprensión del ensayo resumiremos los pasos brevemente:

En primer lugar, para realizar el lavado asfáltico se deben tomar muestras de cada tramo a micropavimentar. Las muestras se llevan a laboratorio y se trituran tal como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 6-11: Muestra triturada de micropavimento para realizar la prueba de lavado asfáltico.



Fuente: Propia 2015.

Una vez que esté la muestra de forma homogénea, como se observa en la figura 6-11, se le coloca en el horno por un periodo de una hora. Este periodo dependerá del tipo de horno con que se cuente. El proyecto Vial Conococha – Recuay, contaba con un equipo especializado para realizar pruebas de lavado asfáltico, en el cual la muestra solo debe permanecer por el periodo de una hora.

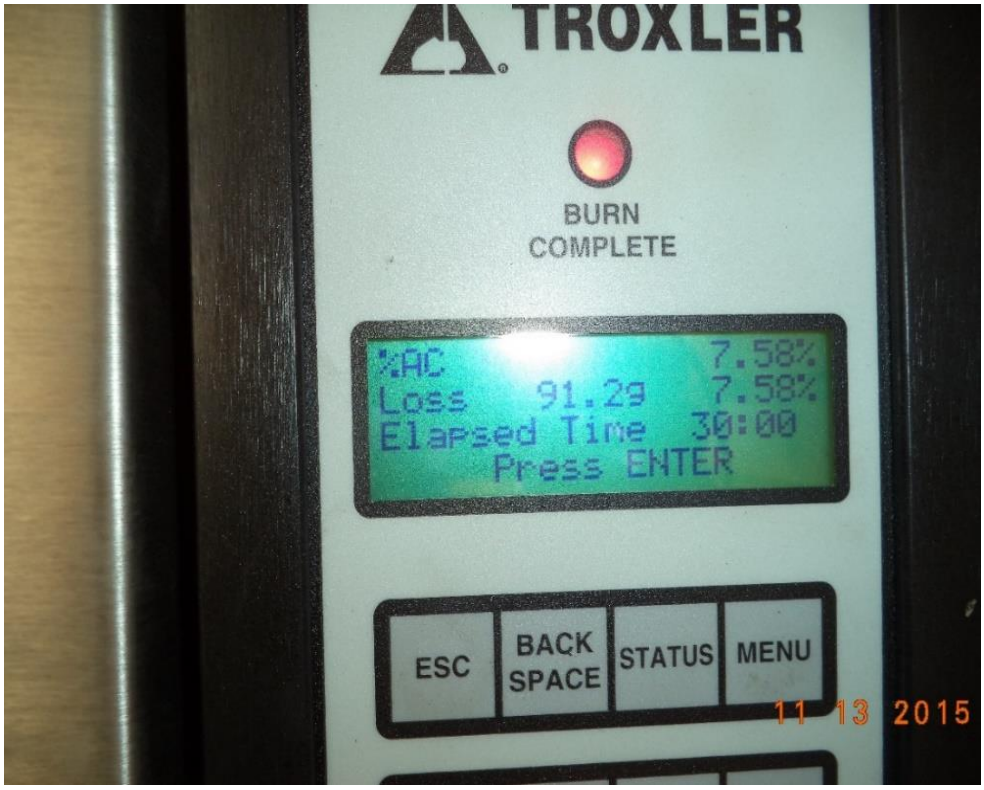
Figura 6-12: Horno especializado para pruebas de lavado asfáltico.



Fuente: Propia 2015.

Finalmente, el caso típico es pesar la muestra y por diferencia de pesos se obtiene el porcentaje de residuo asfáltico en la muestra analizada. Sin embargo, el horno Troxler arroja el valor automáticamente tal como se muestra a continuación.

Figura 6-13: Resultado del ensayo lavado asfáltico.



Fuente: Propia 2015.

Como se puede apreciar en la figura 6-13, el contenido de residuo asfáltico en este tramo fue de 7.58%, el cual se encuentra dentro del rango de diseño en laboratorio.

El ensayo de lavado asfáltico se realiza para cada tramo y al final de cada valorización se presenta un resumen de los resultados y el promedio de todos para verificar que se están cumpliendo con las especificaciones del diseño de laboratorio.

6.3.5. VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGREGADO

La calidad del agregado es uno de los factores más importantes a verificar, ya que el diseño de laboratorio está definido para un determinado tipo de agregado con características específicas de acuerdo a la Norma ISSA.

Para verificar la calidad del agregado se debe realizar un control de cantera en base a los ensayos de caracterización geotécnica explicados en los capítulos previos, tales como:

- Ensayo de granulometría.

- Ensayo de equivalente de arena.
- Ensayo de azul de metileno.
- Ensayo de peso específico del agregado.

Además, se debe asegurar que el agregado debe ser cien por ciento chancado, libre de impurezas y cumplir con las normas de evaluación de la Norma EG-2013 Sección 425.[150]

6.4. EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DE EJECUCIÓN

La condición estructural y funcional son las bases para determinar el rendimiento de un pavimento y con el objetivo de mantener la vía en condiciones aceptables en términos de confort y seguridad, se realiza un mantenimiento preventivo y técnicas de rehabilitación superficial que pueden preservar y mejorar éstas condiciones funcionales, que mejoran el rendimiento total del pavimento.[151] Este tipo de tratamiento superficial resulta ser un tipo de sistema de bajo costo, respecto a la construcción total de una carretera.

El costo del micropavimento, varía dependiendo de muchos factores tales como localización, disponibilidad de buenos materiales, contratista, cantidades de aplicación, mantenimiento al tráfico y otros elementos parte de la licitación. Actualmente, se usan varios métodos para medir y pagar los micropavimentos.[152] Los métodos de medición incluyen; medida de la cantidad de agregados y emulsión asfáltica modificada con polímeros; medida de la cantidad de los componentes de la mezcla y; medida del área superficial.[153] A continuación, en la Tabla VI-4, se puede observar el resumen en términos de costos y descripción del proyecto vial.

[150] Cfr. MTC EG - 2013: 644

[151] Cfr. FHWA 1994:04

[152] Cfr. FHWA 1994:48

[153] Cfr. FHWA 1994:48

Tabla VI-4: Descripción y costo del Proyecto.

PROYECTO	
UBICACIÓN	Ancash
LONGITUD	22 Km
CLIENTE	MTC - Provías
SUPERVISOR	Provías Departamental Ancash
MONTO CONTRACTUAL	S/. 18, 053, 762.87 (Incl. I.G.V.)
PLAZO DE EJECUCION	12 Meses (1 Año)
FECHA DE INICIO	Mayo 2015
FECHA DE TÉRMINO	Mayo 2016

Fuente: MTC 2015.

En la tabla VI-4, se puede apreciar el costo total del proyecto vial Conococha- Recuay el cual contiene los siguientes entregables: la implementación del Plan de Conservación Vial desarrollada en la Fase Pre Operativa, Conservación Periódica, Relevamiento de Información, Emergencias y Gastos Generales. Las tarifas y costos de los equipos, materiales y mano de obra corresponden a los precios que están manejando las empresas del consorcio, a cotizaciones locales. El impacto costo/beneficio del micropavimento se verá a lo largo de su vida útil, que, si bien el micropavimento tiene un diez por ciento de costo mayor que el Slurry seal, el desempeño que presentarán a lo largo de su vida útil es lo que hará la diferencia fundamental.

En el presupuesto del proyecto, uno de los costos más representativos es el costo por m^3 de material integral que se explotó en las canteras para la obtención de la arena chancada para micropavimento, los precios varían desde los S/. 12 hasta los S/. 35 por m^3 de material integral; se ha considerado el mayor de ellos por prevención (derecho de cantera).

CONCLUSIONES

El presente proyecto de investigación se presentó con la finalidad de ampliar el conocimiento sobre el diseño y comportamiento del micropavimento. En este sentido, se espera que este material sirva de referencia para las futuras investigaciones y aportaciones que se pudieran realizar en el tema de micropavimentos y pavimentos asfálticos en frío.

En los siguientes párrafos presentamos las conclusiones a las que se llegaron a lo largo de todo el período de investigación, en el cual se resumen en aspectos generales los resultados de los análisis realizados:

- El proyecto vial Conococha – Recuay, se encuentra en un estado aceptable habiendo culminado el contrato de Conservación Vial en el periodo 2011 – 2015. Sin embargo, debido a que la Carretera Longitudinal de la Sierra fue concesionada a una empresa española para el 2017, se requirió de un contrato complementario de conservación Vial por un periodo de 12 meses. El objetivo del contrato complementario, es de mantener la vía en buenas condiciones evaluadas por medio de niveles de servicio, para entregar las vías en las condiciones admitidas, en el contrato de concesión otorgado, a la empresa española a partir del 2017.
- Se logró como objetivo definir de una manera ordenada y comprensible para el lector el marco teórico de los pavimentos asfálticos, los micropavimentos y los criterios para la evaluación de la cantidad óptima de asfalto. Es claro que, en el Perú se tiene pendiente mucho por investigar en temas referentes con las mezclas en frío y, el micropavimento propiamente dicho. Por este motivo, se dieron alcances de manera organizada en que el lector pueda comprender los principios básicos para evaluar un contrato de conservación vial, el micropavimento como concepto, procedimiento de diseño y, análisis de resultados en base a pruebas de desempeño en laboratorio.
- Se evaluaron mediante ensayos de laboratorio los agregados cien por ciento chancado, los cuales fueron procedentes de la Cantera Acaray. A continuación, se presentan los resultados obtenidos que sirvieron para el diseño del micropavimento:

Tabla: Resultados de la caracterización del agregado.

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO	COMENTARIO
GRANULOMETRÍA (ASTM C 136)	TIPO III	OK	----
EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)	MÍNIMO 65%	76%	Cumple con la norma.
AZUL DE METILENO (ISSA TB 145)	---------	9.0 mg/gr	Cumple con la norma.
PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)	---------	1763 Kg/m^3	----

- Por otro lado, en la investigación se pudieron identificar dos criterios para la evaluación de la cantidad óptima de asfalto. A continuación, presentamos los resultados de diseño para ambos criterios de acuerdo con el diseño de laboratorio obtenido.

En primer lugar, se evaluó la cantidad óptima de residuo asfáltico en el micropavimento por el criterio de la intersección, los resultados obtenidos en laboratorio fueron los siguientes:

Tabla: Diseño por el criterio de la intersección.

RESUMEN:				
Asfalto Óptima COA (%)	**Emulsión Óptima CEO (%)**	**Agua (%)**	**Aditivo (%)**	**Cemento (%)**
6.13 - 7.13	**9.80 - 11.40**	**5.00**	**1.00**	**0.30**

En segundo lugar, se evaluó la cantidad óptima de residuo asfáltico en el micropavimento por el criterio de las áreas equivalentes, los resultados obtenidos en laboratorio fueron relativamente mayores a las obtenidas por el criterio de la intersección, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla: Diseño por el criterio de las áreas equivalentes.

RESUMEN:				
Asfalto Óptima COA (%)	Emulsión Óptima CEO (%)	Agua (%)	Aditivo (%)	Cemento (%)
7.33 - 8.33	11.70 - 13.30	5.00	1.00	0.30

Al analizar ambos criterios en el capítulo VI, se llegó a la conclusión que el criterio de las áreas equivalentes es la mejor opción para determinar la cantidad de emulsión óptima que se utilizará en el micropavimento; por lo que se comprobó la hipótesis general.

La prueba final para determinar si el micropavimento es competente para la obra o proyecto es el ensayo de verificación o también conocido como el Schulze Breuer and Ruck, a continuación, presentamos el resultado obtenido.

Tabla: Resultados del Schulze Breuer and Ruck.

	Abrasión (g)	Adhesión (%)	Integridad (%)
Resultado	0.33	98.30%	99.03%
Puntaje	4	4	4
Grado	A	A	A

PUNTAJE TOTAL	ESPECIFICACIÓN
12	MÍNIMO 11 (AAA, BAA)

- El Schulze Breuer and Ruck es la prueba definitiva del diseño de micropavimento. Es un ensayo muy riguroso que la Norma ISSA exige, ya que solo existe un margen de error de un punto. Es decir, si el puntaje obtenido en esta prueba es menor a 11, entonces la compatibilidad entre la emulsión y la arena chancada no es admitida por la norma.
- Se logró mantener el IRI (m/km) por debajo de la exigencia solicitada, 2.5 m/km, tanto para el tramo derecho e izquierdo de la vía de 22 km.

Al momento de realizar la comparación entre criterios, se toma en cuenta que trabajar con el criterio de las áreas equivalentes nos brinda la seguridad de evitar problemas de

susceptibilidad al ahuellamiento, exudación o desgaste prematuro y pérdida de abrasión; a comparación del criterio de la intersección. Esto concuerda con la hipótesis secundaria 1.

- El éxito del micropavimento se garantiza siempre que se evalúen y cumplan los siguientes principios: materiales de alta calidad, diseño competente y procedimientos constructivos. De esta manera, la hipótesis secundaria 2 resulta ser una recomendación a tomar en cuenta, para llevar a cabo los futuros proyectos viales con micropavimento.
- El diseño de mezcla asfáltica en laboratorio, podrá sufrir afericiones de acuerdo a las condiciones climatológicas y al proceso constructivo al momento de la ejecución de obra, el cual será ajustado en la primera semana de ejecución de los trabajos.
- Los ensayos y el diseño realizado y presentado en este proyecto de investigación sólo se aplican a las variables descritas. Es decir, el diseño sólo se contempla para el agregado de la Cantera Acaray, la Emulsión especificada en el certificado, agua potable y cemento utilizados. Esto debido, a que si alguno de los materiales varía en su composición o característica, el diseño va a sufrir cambios. Es por ello, que la norma ISSA A143 exige que se debe realizar el diseño de laboratorio para cada agregado a utilizar.

RECOMENDACIONES

- El diseño del micropavimento es una parte importante para garantizar el éxito en el proyecto; pero también se deben tener en cuenta, los materiales de alta calidad y los procedimientos constructivos que se utilizaran a lo largo de toda la micropavimentación.
- Tener en consideración las evaluaciones de campo para garantizar la calidad del micropavimento, y de esta manera demostrar la buena performance del micropavimento de acuerdo al Índice de Regularidad.
- Se recomienda realizar un tramo de prueba para garantizar el adecuado desarrollo del proyecto y calibrar el diseño de laboratorio de acuerdo con las condiciones climáticas o el procedimiento constructivo adoptado por el contratista conservador.
- Es recomendable usar el criterio de las áreas para tener un rango más seguro desde el punto de vista técnico y económico para diseñar la cantidad óptima de emulsión asfáltica.
- Es importante, en el diseño del micropavimento, seguir las especificaciones de la Norma ISSA A143 y complementarlo con el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013, para obtener los mejores resultados.
- Finalmente, se recomienda seguir las investigaciones sobre el micropavimento y las diferentes soluciones de las mezclas en frío, ya que aún existen una variedad indefinida de métodos o combinaciones que se puedan realizar para mejorar las características como: durabilidad, impermeabilidad, cohesión, impacto con el medio ambiente, etc.

BIBLIOGRAFÍA

ALVA, Jorge, HURTADO, Carlos y BUSTAMANTE, Américo (2000) VIII CONGRESO NACIONAL DE ESTUDIANTES DE INGENIERIA CIVIL. Congreso pronunciado del 6 al 11 de noviembre en Ica.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (1993) Guide for Design of Pavement Structures. Washington: AASHTO.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (2002) Guide for Design of Pavement Structures. Washington: AASHTO.

ASPHALT INSTITUTE (1999) Manual Básico de Emulsiones Asfálticas. Washington: AEMA.

BRAGAGNINI, Iván (2015) entrevista personal con el autor: procedimientos constructivos en pavimentos y micropavimentos. 03 de noviembre.

COMISIÓN PERMANENTE DEL ASFALTO DE LA REPÚBLICA DE ARGENTINA (CPA) (1983) Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción. Buenos Aires: CPA.

Emulsiones Asfálticas y productos Asfálticos (BITUPER) Emulsiones asfálticas (http://www.bituper.com/productos/emulsiones-asfalticas/rotura-controlada) (Consulta: 22 de septiembre del 2015)

ESCALANTE, Jorge (2016) entrevista personal con el autor: diseño, procedimientos constructivos en micropavimentos. 08 de junio.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) (1994) Condiciones para Prácticas de Diseño, Construcción y Rendimiento de Micropavimentos. Washington: FHWA.

HERNANDEZ, Roberto (2014) Metodología de la investigación. México: 6ª ed. MC Graw Hill.

INSTITUTO DEL ASFALTO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA (1983): Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción.

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI) (2004) Mapa de Peligros, Plan de Usos del Suelo y Medidas de Mitigación ante Desastres de las Ciudades de Recuay, Ticapampa y Cátac – Setiembre del 2004.

INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION (ISSA) (2010) Recommended Performance Guideline For Micro Surfacing. Washington: ISSA.

LAZO, Guillermo (2015) Conservaciones viales oportunidad de innovación tecnológica. Lima: UPC.

MERCADO, Ronald, Carlos B. y Jorge A. (2008) Emulsiones Asfálticas. Mérida: FIRP.

Meteored (METEORED) (2015) (http://www.meteored.pe/tiempo-en_Huaraz-America+Sur-Peru-Ancash--1-23129.html). (Consulta: 02 de noviembre del 2015)

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC) (2013) Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013. Lima: MTC

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC) (2013) Manual de Carreteras – Conservación Vial. Lima: MTC

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC) (2014) Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima: MTC

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP) (2010) Microsurfacing A Synthesis of Highway Practice. Washington: NCHRP.

PROVIAS NACIONAL (2014) PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA VIAL PROYECTO PERÚ**.** **(**http://www.proviasnac.gob.pe/frmConservacion.aspx?idMenu=646). (Consulta: 26 de septiembre)

PROVIAS NACIONAL (2015) Plan Operativo Nacional 2015: Oficina de Programación, Evaluación e Información – Lima. Lima: PROVIAS.

PROVIAS NACIONAL (2015) Programa de Conservación Vial del Contrato Complementario "SERVICIO DE GESTIÓN Y CONSERVACIÓN VIAL DE LA CARRETERA EMP.1N – CONOCOCHA – HUARAZ – CARAZ – MOLINOPAMPA Y EMP.3N – CHIQUIÁN – AQUIA – EMP.3N" – Agosto del 2015.

RIVERA, Gustavo (1997) Mortero Asfáltico: Slurry Seal. México: Alfaomega.

SERVICIO NACIONAL DE NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI) Mapa de Clasificación Climática (http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi) (Consulta: 26 de octubre del 2015)

SISTEMA NACIONAL DE INVERSIÓN PÚBLICA (SNIP) (2015) Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. Lima: JMD.

WULF, Fernando (2008) Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero (tesis para optar por título en Ingeniería civil). Valdivia: Universidad Austral de Chile.