UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Influencia de la variabilidad de la granulometría del agregado en la deformación permanente de micropavimentos para el proyecto de conservación vial complementario Huancavelica tramo V: Acobamba-Puente Alcomachay

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Scaramutti Álvarez, Nadielka Alejandra (0000-0002-7224-7438)

Vásquez Llanovarcad, Pool Daryl (0000-0001-5190-3726)

ASESOR

Lazo Lázaro Guillermo (0000-0002-7968-7858)

Lima, 12 de Mayo del 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, ha sido un orgullo y privilegio ser sus hijos, son los mejores padres. A nuestro asesor de tesis, Ingeniero Guillermo Lazo, por guiarnos durante el desarrollo de nuestra investigación y brindarnos el apoyo necesario para realizarlo con éxito. Finalmente, pero no menos importante, a todas las personas que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos para llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

- Nadielka Scaramutti y Pool Vásquez

AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quisiéramos agradecer la ayuda que muchas personas y colegas durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, queremos agradecer a nuestro centro de estudio Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas y en especial reconocimiento a nuestro asesor y colaborador directo de la presente investigación de tesis, el Ingeniero Guillermo Lazo Lázaro, por introducirnos al mundo de los micropavimentos y brindarnos lo necesario para culminar nuestro desarrollo profesional.

A los técnicos y directivos del laboratorio TDM Asfaltos, quienes nos permitieron realizar todos los ensayos de micropavimentos y complementar la investigación teórica desarrollada. Al grupo de ingenieros, técnicos y trabajadores en general de la Empresa COSAPI por su constante apoyo y guía en el entendimiento e importancia de la labor de los trabajos en campo y la repercusión de nuestra investigación en éste. 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.

Pero, sobre todo, gracias a Dios y nuestros padres, por su paciencia, comprensión y ayuda para mantenernos firmes y no decaer a pesar de los obstáculos y adversidades durante este largo camino de gran esfuerzo que demanda ser Ingeniero Civil.

- Nadielka Scaramutti y Pool Vásquez

RESUMEN

El Micropavimento es una técnica utilizada mundialmente para el mantenimiento de carreteras debido a sus propiedades de trabajabilidad y de rotura controlada en la mezcla asfáltica que permite una rápida apertura al tráfico comparado con otros tipos de tratamientos superficiales. El ahuellamiento es un tipo de falla que afecta seriamente el desempeño de los micropavimentos y que tiene un impacto directo en la vida útil. La metodología empleada por International Slurry Surfacing Association (ISSA), en la cual se basa el manual de carreteras de especificaciones técnicas generales para construcción (EG 2013), recomienda una serie de especificaciones para el desarrollo de los ensayos de desempeño en el laboratorio que buscan evitar la presencia del ahuellamiento en el Micropavimento. Sin embargo, dentro de las limitaciones encontradas en esta metodología se evidencia que los agregados entre las mallas N° 30 y mayores a 200 que presentan valores muy cercanos al límite inferior del huso tipo III producen una falta de confinamiento entre los componentes de la mezcla asfáltica, lo cual ocasiona la falla por ahuellamiento.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la variabilidad granulométrica del agregado en la deformación permanente de Micropavimentos. Además de brindar una propuesta de mejora a la EG 2013 respecto al desempeño del micropavimento, previniendo así el problema presentado líneas arriba para agregados con caracterización similar a la cantera Río Mantaro.

Palabras clave: Granulometría; Micropavimento; Ahuellamiento; Abrasión; Cohesión.

ABSTRACT

The Micropaviment is a technique used worldwide for the maintenance of roads due to its workability and controlled breakage properties in the asphalt mix that allows rapid opening to traffic compared to other types of surface treatments. The collapse is a type of failure that seriously affects the performance of the Micropavimento and has a direct impact on the useful life. The methodology used by the International Slurry Surfacing Association (ISSA), on which the road manual of general technical specifications for construction is based (EG 2013), recommends a series of specifications for the development of performance tests in the laboratory that seek to avoid the presence of the sagging in the Micropavimento. However, within limitations found in this methodology it is evident that aggregates between meshes No. 30 and greater than 200 that present values very close to the type III spindle produce a lack of confinement between the components of the asphalt mixture, which causes the failure by collapse.

The objective of this investigation was to evaluate the influence of the granulometric variability of the aggregate on the permanent deformation of Micro surfacing. In addition, a proposal to improve the EG 2013 respect to the performance of the Micro surfacing, this preventing the problem presented above for aggregates with similar characterization to the Rio Mantaro quarry.

Keywords: Granulometry; Micropaviment; Collapse; Abrasion; Cohesion.

TABLA DE CONTENIDOS

1. GENERALIDADES	11
1.1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	13
1.3. ESTADO DEL ARTE.....	14
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	39
1.5. HIPÓTESIS.....	39
1.6. OBJETIVOS.....	40
1.6.1. Objetivo General.....	40
1.6.2. Objetivos Específicos	40
1.7. CONSERVACIÓN VIAL	41
1.8. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	44
2. MARCO TEORICO.	51
2.1. PAVIMENTO ASFÁLTICO	51
2.1.1. Pavimentos Flexibles.....	51
2.2. MICROPAVIMENTOS.....	52
2.2.1. Historia de Micropavimentos	52
2.2.2. Definición de Micropavimentos.....	52
2.2.3. Usos de los Micropavimentos	53
2.2.4. Fases y etapas para el correcto desempeño de un Micropavimento	53
2.2.5. Tipos de huso de los Micropavimentos	54
2.2.6. Componentes e insumos	55
2.2.7. Mezcla Asfáltica.....	62
2.3. DEFORMACIÓN PERMANENTE DEFINICIÓN.	67
2.3.1. Deformaciones permanentes en materiales granulares.....	68
2.3.2. Factores que influyen en la deformación permanente	69
3. METODOLOGÍA.....	72
3.1. MATERIAL	72
3.1.1. Población	72
3.1.2. Muestra	72
3.2. MÉTODO.....	72
3.2.1. Nivel de Investigación.....	72

3.2.2.	Diseño de Investigación.....	73
3.2.3.	Variables de Estudio y Operacionalización.....	74
3.2.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	75
3.2.5.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos.	76
3.3.	DISEÑO DE LOS MICROPAVIMENTOS	76
3.3.1.	Canteras y fuentes de agua	76
3.3.2.	Etapa 1: Validación de Insumos	78
3.3.3.	Etapa 2: Propuesta del Diseño Teórico.....	86
3.3.4.	Etapa 3: Evaluación de Desempeño al Diseño de Micropavimento.....	87
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS.	95
4.1.	OBJETIVO 1: ESTIMAR UN DESPLAZAMIENTO LATERAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO EN LA RUEDA CARGADA, EL CUAL ESTÉ VINCULADO A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE.....	95
4.2.	OBJETIVO 2: EVALUAR POR DESEMPEÑO EN LABORATORIO LAS PROPUESTAS DE DOSIFICACIÓN TEÓRICA PARA LAS DIVERSAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS TIPO III SELECCIONADAS.	98
4.3.	OBJETIVO 3: PROPONER UNA MEJORA AL HUSO GRANULOMÉTRICO TIPO II EN LOS TAMAÑOS ENTRE ARENAS MEDIAS Y FINAL, TAMICES N°30 Y >N°200.	107
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	109
5.1.	CONCLUSIONES.	109
5.2.	RECOMENDACIONES.	111
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
7.	ANEXOS	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de la Superficie	15
Tabla 2 Factor de reducción	19
Tabla 3 Característica de agregado GR y GC.....	30
Tabla 4 Macro estructura del pavimento Sección A.....	36
Tabla 5 Macro estructura del pavimento Sección B.....	37
Tabla 6 Variaciones de las proporciones de las secciones A y B.....	37
Tabla 7 Distribución uniforme de las secciones A y B	37
Tabla 8 Evaluación y distribución uniforme de las secciones A y B	37
Tabla 9 Indicador de logro de Hipótesis.....	39
Tabla 10 Indicador de Logro de Objetivo General.....	40
Tabla 11 Indicador de Logro de Objetivos Específicos	41
Tabla 12 Características principales del proyecto	44
Tabla 13 Cantidad a intervenir	47
Tabla 14 Tipos de huso y Capacidad de carga	55
Tabla 15 Requerimientos de Emulsión Asfáltica	56
Tabla 16 Granulometría de Material Fino	58
Tabla 17 Granulometría de los Agregados	59
Tabla 18 Granulometría de los agregados	60
Tabla 19 Tolerancias para banda de trabajo	60
Tabla 20 Matriz de Operacionalización.....	75
Tabla 21 Fuentes de Agua	78
Tabla 22 Resultados De Ensayos Químicos	79
Tabla 23 Resumen de Ensayo para Agua-Muestra A.....	79
Tabla 24 Resumen de Ensayo para Agua-Muestra B	79
Tabla 25 Resumen de Ensayo para Agua-Muestra C	80
Tabla 26 Análisis Granulométrico.....	81
Tabla 27 Ensayos de laboratorio	82
Tabla 28 Ensayos de laboratorio	83
Tabla 29 Ensayos de laboratorio	84
Tabla 30 Características de la Emulsión Asfáltica – Muestra A	85
Tabla 31 Características de la Emulsión Asfáltica – Muestra B	85

Tabla 32 Características de la Emulsión Asfáltica – Muestra C	85
Tabla 33 Tabla Duriez	89
Tabla 34 Dosificación del Micropavimento	90
Tabla 35 Datos para la elaboración del Método de Áreas Equivalentes-Muestra A.....	91
Tabla 36 Dosificación del Micropavimento- Muestra B	93
Tabla 37 Datos para la elaboración del Método de Áreas Equivalentes	94
Tabla 38 Desplazamiento del Micropavimento.....	96
Tabla 39 Valores antes y después del ensayo.....	96
Tabla 40 Resultado Ensayo Rueda Cargada - Muestra A	98
Tabla 41 Resultado Ensayo Abrasión-Muestra-A	99
Tabla 42 Dosificación.....	99
Tabla 43 Resultado Ensayo de Rueda Cargada-Muestra B	101
Tabla 44 Resultado Ensayo Abrasión-Muestra B.....	101
Tabla 45 Dosificación.....	102
Tabla 46 Resultado Ensayo de Rueda Cargada-Muestra C	103
Tabla 47 Criterio de Clasificación.....	104
Tabla 48 Prueba de Verificación - Muestra A.....	104
Tabla 49 Clasificación de Muestra A	105
Tabla 50 Prueba de Verificación - Muestra B	106
Tabla 51 Clasificación de Muestra B	106
Tabla 52 Propuesta de mejora Huso tipo III.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS Y ECUACIONES

Figura 1 Efecto de la rugosidad de la superficie sobre el esfuerzo cortante.	16
Figura 2 Influencia de la brecha entre las superficies agrietadas	16
Figura 3 Configuración de prueba	20
Figura 4 Prueba virtual de abrasión en ABAQUS.....	22
Figura 5 Análisis de tensión plástica	22
Figura 6 Elementos del agregado seleccionado.....	24
Figura 7 Ensayo de compresión.....	27
Figura 8 Resultados de ensayo de compresión.....	27
Figura 9 Prueba de resistencia a la flexión	28
Figura 10 Prueba de resistencia a la tracción	28
Figura 11 Resultado Prueba de resistencia a la flexión	29
Figura 12 Resultado Prueba de resistencia a la tracción	29
Figura 13 Detalle de PSIAD	32
Figura 14 Escaneo principal de ICT	33
Figura 15 Variación de segregación en agregado.....	33
Figura 16 The binary and skeleton image of asphalt pavement surface.....	34
Figura 17 Etapas del contrato de conservación	42
Figura 18 Layout general del proyecto.....	45
Figura 19 Ilustración del PCI	46
Figura 20 Evaluación del deterioro Superficial Tramo I.....	46
Figura 21 Mapa geográfico de Alcomachay.....	48
Figura 22 Distribución zonas sísmicas en el Perú	50
Figura 23 Diagrama esquemático de una emulsión.....	55
Figura 24 Equipo utilizado para Prueba de Rueda Cargada.....	63
Figura 25 Equipo utilizado para Prueba Abrasión en Húmedo	64
Figura 26 Equipo utilizado para Prueba de Cohesión	65
Figura 27 Equipo utilizado para Prueba de Schzle Breuer and Ruck.....	66
Figura 28 Curva típica esfuerzo – deformación en un ciclo de carga y descarga	67
Figura 29 Mecanismo de formación de roderas en un pavimento asfáltico	68
Figura 30 Evolución de la deformación permanente de un material granular contra el número de ciclos	69
Figura 31 Curvas granulométricas de los materiales estudiados.....	70

Figura 32 Evolución de la deformación permanente en muestras con diferente granulometría	71
Figura 33 Proceso Cuantitativo	73
Figura 34 Esquema del Diseño.....	74
Figura 35 Vista del material granular existente en la cantera Río Mantaro	77
Figura 36 Vista de la Cantera Río Mantaro Km. 156+000.....	77
Figura 37 Curva Granulométrica Huso tipo III y muestra A-B-C.....	81
Figura 38 Curva Granulométrica Micropavimento Tipo III-Muestra A	82
Figura 39 Curva Granulométrica Micropavimento Tipo III-Muestra B.....	83
Figura 40 Curva Granulométrica Micropavimento Tipo III-Muestra C.....	84
Figura 41 Mapa Resumen del Procedimiento de Diseño	87
Figura 42 Ábaco de Duriez.....	90
Figura 43 Curva de Cohesión-Muestra A.....	91
Figura 44 Método de Áreas Equivalentes – Muestra A	92
Figura 45 Curva de Cohesión – Muestra B	93
Figura 46 Método de Áreas Equivalentes – Muestra B.....	94
Figura 47 Diagrama de Barras - Espesor Antes vs Después	96
Figura 48 Diagrama de Barras - % Desplazamiento Lateral	97
Figura 49 Evidencia Rueda Cargada-A	98
Figura 50 Evidencia Abrasión en Húmedo-A	99
Figura 51 Curva de Cohesión	100
Figura 52 Evidencia Cohesión-A	100
Figura 53 Evidencia Rueda Cargada-B	101
Figura 54 Evidencia Abrasión en Húmedo-B.....	102
Figura 55 Curva de Cohesión	102
Figura 56 Evidencia Cohesión-B.....	103
Figura 57 Evidencia Rueda Cargada C.....	103
Figura 58 Evidencia Verificación- A	105
Figura 59 Evidencia Verificación-B.....	106
Figura 60 Mejora Huso granulométrico tipo III	108
 Ecuación 1 Relación entre la Rugosidad de la Superficie y el Cortante.....	15
Ecuación 2 Ecuación para transferencia de esfuerzo cortante.....	18

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

En la actualidad, el uso de micropavimentos es considerado una de las técnicas más avanzadas y referentes en la ingeniería de pavimentos. Según Kumar et al. (2016) mencionaron que los micropavimentos están emergiendo como la primera elección para mantenimiento preventivo, pero se debe llevar a cabo una buena mezcla de los insumos, puesto que, si no prima el diseño y producción, los micropavimentos podrían presentar deterioros prematuros, como el ahuellamiento.

El ahuellamiento en micropavimentos, representa a la deformación permanente, vista en pista como una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos, que para el caso estudiado, refiere sólo al deterioro superficial, no afectando al pavimento estructuralmente. Los materiales usados para la fabricación del micropavimento juegan un rol importante en el comportamiento y performance de esta capa asfáltica.

Según Wang et al. (2018), el agregado tiene una considerable influencia en el rendimiento mecánico de los pavimentos asfálticos. Además, la resistencia al deslizamiento a largo plazo de los pavimentos depende en gran medida de la resistencia al pulido del agregado específico presente en la superficie.

Mohamed Ibrahim et al. (2017) corroboran dicha información, mencionando que uno de los motivos más importantes de las fallas en los micropavimentos, se debe a la calidad de los agregados, evaluados por medio de sus propiedades físicas tales como la gradación, la forma, la textura de la superficie, la tenacidad y la absorción, que acaban controlando el rendimiento de las mezclas.

Para poder introducirnos más a la influencia de los agregados en las mezclas de micropavimentos y cómo éstas generan ahuellamiento, es relevante mencionar las investigaciones de Ke Zhang et al. (2017), quienes han llegado a confirmar mediante estudios, que la gradación global de los áridos constituye un aspecto importante en la construcción del pavimento asfáltico, reflejando cantidad y ubicación de los agregados en la mezcla de asfalto. Por ello es posible concluir que la gradación de agregados es un factor importante que influye en las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico.

Los Micropavimentos diseñados con el huso tipo III de la norma ISSA A143 se encuentran delimitados por especificaciones que corresponden a dos curvas granulométricas establecidas, las cuales afirman que si la granulometría de una mezcla asfáltica cumple con

los rangos delimitados dentro de los tamices #30 a > #200, técnicamente debería ser competente la mezcla, entre otros, no debería presentarse ahuellamientos.

Según la experiencia de proyectos viales antecesores, en la etapa de ajustes, los Micropavimentos a pesar de cumplir con áridos conformados por granulometrías dentro del Huso Tipo III, experimentaban en laboratorio y luego en campo desplazamientos indeseables en la capa fraguada, fundamentalmente para las dimensiones de arenas medias a finas que progresaban en los límites inferiores del huso tipo III de la ISSA A143, específicamente entre los tamices N°30 a >N°200, evidenciando cumplimiento pero en valores bajos en cantidad de partículas finas por cada una de las mallas del rango señalado.

Estos desplazamientos que conllevan a deterioros, se deben a la falta de confinamiento del árido. Se entiende en la presente investigación como falta de confinamiento al inadecuado o inocuo proceso de adherencia que realizan las partículas de agregado fino a las superficies de los agregados gruesos generando por ende, vacíos dentro de la mezcla y reduciendo las capacidades admisibles del Micropavimento. Siendo esta la principal causa para la presencia de deformación permanente, visto como el deterioro denominado: ahuellamiento.

La investigación se centra en demostrar que los áridos en las que sus granulometrías referidas a los tamaños de la N°30 a > N°200, presentando una cercanía importante al límite inferior (dentro la especificación técnica), generan ahuellamientos.

A esta problemática observada en laboratorio y campo como resultado de la investigación, dados los antecedentes presentados en varios proyectos de la zona de sierra en el Perú, se propone una sugerencia a la EG2013 para ser examinada, en particular, para el tipo de caso evaluado, referente al huso granulométrico tipo III en Micropavimentos que busca optimizar el huso, al menos para el caso de espesores mínimos de 1cm de capa de rodadura, lo que prevé una mejoría en la performance de la capa de rodadura.

La propuesta queda dimensionada, luego de examinar un conjunto de granulometrías en el borde inferior, centro y borde superior del huso granulométrico tipo III, la cual finalmente queda evidenciada por 3 muestras representativas de las granulometrías estudiadas.

Así la 1ª mezcla asfáltica representativa proviene de la granulometría A, la que cuenta con mayor presencia de partículas finas (referentes a los rangos de mallas N°30 a >N°200), por ende se posiciona como curva cercana a la curva superior del huso granulométrico tipo III. La 2ª mezcla asfáltica representativa proviene de la granulometría B, la que se encuentra en

un rango intermedio. Y la 3ª mezcla asfáltica representativa proviene de la granulometría C, la que cuenta con menor presencia de agregados finos (referentes a los rangos de mallas N°30 a >N°200) y por ende una tendencia cercana a la curva inferior del huso granulométrico tipo III.

Las tres mezclas asfálticas se evaluaron con ensayos de desempeño en laboratorio de acuerdo al standard ISSA, simulando condiciones de operación y sollicitación típicas en el funcionamiento de los micropavimentos. De los resultados de desempeño, fue posible determinar los comportamientos en el tiempo para la capa de rodadura. En particular, en esta investigación, la deformación permanente fue el factor fundamental de validación de este tipo de mezcla asfáltica para el caso de obra, evaluador sensiblemente importante, en la performance para un micropavimento y cuyo centro fundamental es el arreglo granulométrico seleccionado.

1.2. Realidad Problemática.

En Perú, el uso de micropavimentos es considerado una de las técnicas más avanzadas y referentes en la ingeniería de pavimentos. Según se define, está compuesto principalmente por una mezcla de emulsión asfáltica de rotura controlada modificada con polímeros, agregado 100% triturado, minerales finos, agua y aditivos que, en proporciones apropiadas y debidamente aplicados, constituyen una capa de rodadura uniforme e impermeable. (Kouchaki et al. 2017).

Sobre el proyecto de conservación vial complementaria Ayacucho-Huancavelica, específicamente tramo V: Acobamba - Puente Alcomachay, así como en proyectos antecesores, se ha detectado que una variable imperceptible para el control de calidad en laboratorio es la variación en los montos granulométricos que se encuentran delimitados por el Huso tipo III. A consecuencia de este factor, en la etapa de ejecución se evidencia que la mezcla asfáltica no presenta un comportamiento favorable a pesar de cumplir con los ensayos de calidad. Por consiguiente, para obtener el resultado deseado, se optó por realizar reajustes en repetidas ocasiones a la distribución granulométrica, con lo cual se concluye que la falta de agregado fino, específicamente entre la malla N°30 y >N°200, produce el desplazamiento indeseable de las partículas por la falta de confinamiento en la mezcla y por ende la presencia de deformación permanente.

Este hallazgo conlleva al desarrollo de la presente investigación, en la acometida de establecer la influencia de la variabilidad granulométrica de los agregados en la deformación permanente, inducida en laboratorio mediante ensayos y estándares establecidos por la norma. Además de servir como antecedente para futuras investigaciones con agregados que presenten propiedades mecánicas similares.

1.3.Estado del Arte

PAPER 01:

Autor (es): Chang Sun, David A. Lange, Jianzhuang Xiao, Tao Ding. (2018), en el trabajo de investigación realizado aplicaron el método hipotético deductivo de enfoque cuantitativo de tipo aplicado de nivel explicativo y diseño pre-experimental cuyos resultados fueron:

En las últimas décadas, la industria del hormigón se ha enfrentado a una serie de energía, recursos y problemas ambientales. La cantidad creciente de los residuos de construcción y demolición y la escasez de materias primas materiales han promovido la aplicación de agregado reciclado concreto (RAC). RAC es un material de construcción sostenible que utiliza diferente porcentaje de agregado grueso reciclado (RCA) para reemplazar agregado grueso natural (NCA). Muchos estudios han sido conducidos para investigar las propiedades mecánicas de RAC. Comparado con hormigón convencional con la misma relación agua / cemento, investigaciones previas han demostrado que las propiedades mecánicas de RAC como la fuerza y el módulo elástico se reduce. La razón principal de las propiedades mecánicas inferiores de RAC fue la mala calidad de RCA como lo indica la baja densidad aparente, alta absorción de agua y alta porosidad. Sin embargo, Manzi ha demostrado que con clasificación favorable y alta calidad de RCA, RAC puede lograr propiedades mecánicas equivalentes en comparación con concreto convencionales.

Descripción del aporte de los autores.

1. Efecto de la rugosidad de la superficie

El código CEB-FIP 2010 especifica que la rugosidad de la superficie es el factor de influencia que afecta la fricción de concreto a concreto. En el código CEB-FIP, la rugosidad de la superficie se ha clasificado en cuatro categorías diferentes dependiendo de la rugosidad promedio Ra, enumerados en la Tabla 1, donde se puede ver que la mayoría de valores de

rugosidad en este estudio se distribuyeron en el rango de 1.5-3 mm, y esas superficies fueron definidas como superficie rugosa. Por lo tanto, en este documento, el análisis se centrará en los especímenes con superficie áspera.

La relación entre la rugosidad de la superficie y el cortante el estrés se resumió y se muestra en la Ecuación 1. De esta figura, en general, la tensión de corte nominal aumenta con el aumento de la rugosidad promedio. La curva ajustada se puede formular como sigue:

Ecuación 1 Relación entre la Rugosidad de la Superficie y el Cortante

$$\tau = 0.2346 \times R_a^{2.445}$$

Tabla 1 Clasificación de la Superficie

Surface classification.

Surface classification	Very smooth	Smooth	Rough	Very rough
Average roughness Ra (mm)	Not measurable	<1.5 mm	≥ 1.5mm	≥ 3mm

Chang et al. (2017)

La dispersión de los resultados de la prueba es grande. Porque la clasificación simplificada basada en la rugosidad promedio Ra no es una categorización, que solo se puede usar para el diseño práctico. Las resistencias al corte se pueden variar para muestras con la misma promedio rugosidad, ya que la topografía de la superficie real es diferente.

Figura 1 Efecto de la rugosidad de la superficie sobre el esfuerzo cortante.

Fuente: Chang et Al. (2017)

2. Efecto de la brecha entre las superficies agrietadas.

La brecha entre las superficies agrietadas es el principal factor que influye el comportamiento de contacto interfacial. Con el aumento de la brecha entre superficies agrietadas, el área de contacto del hormigón de dos partes disminuido En esta sección, la tensión de corte nominal es el valor promedio de las muestras con superficie rugosa.

La influencia de la brecha entre las superficies agrietadas se muestra en la Figura 2, se puede encontrar que la brecha entre las superficies agrietadas tuvo un efecto negativo sobre el estrés de cizalladura nominal. El máximo la resistencia al corte para diferentes casos disminuyó, en un 16.9-79% cuando la brecha entre las superficies agrietadas aumentó de 0 mm a 4 mm.

Figura 2 Influencia de la brecha entre las superficies agrietadas

3. Efecto del tiempo de curado.

En esta sección, la tensión de corte nominal fueron los valores promedio para todas las muestras con superficie rugosa. La influencia del curado el tiempo de curación tuvo un efecto positivo en el estrés de cizalladura nominal. La carga máxima de corte aumentó en 0.47 tiempos a 2.86 veces cuando el tiempo de curado aumenta desde 7 días a 28 días. Mientras que para RAC, la carga de corte disminuyó con el aumento del tiempo de curado y la carga máxima de corte disminuyó por 21.8-65%. El tiempo de curado afectó la resistencia del mortero y la resistencia del mortero mostró diferentes influencias para las muestras con diferentes tipos de agregados.

4. Efecto del tipo agregado.

La investigación ha demostrado que las propiedades pobres de RCA influyen en las propiedades mecánicas de RAC, como la resistencia a la compresión y módulo elástico. Pero en esta prueba, debido a la alta calidad del RCA, la resistencia a la compresión del RAC es similar a la del convencional hormigón. La influencia de RCA en el comportamiento de contacto entre las superficies agrietadas de concreto a concreto.

La tensión de corte nominal son los valores promedio para el espécimen con rugosidad superficial en el rango de 1.5-3 mm. Eso se puede encontrar que para las muestras que se curan durante 7 días, el valor nominal el esfuerzo cortante del RAC es mucho más alto que el de los concreta. Los valores de tensión de corte nominal para muestras RAC con 0 mm a 2 mm entre superficies agrietadas son 6 veces más como los valores del concreto convencional. Para muestras con 4 mm brecha entre las superficies agrietadas, los valores de RAC son dos veces más como el del concreto convencional. Para las muestras curadas para 28 días, la tensión de corte nominal de RAC para especímenes con la brecha de 0 mm entre las superficies agrietadas es un poco más alta que esa para hormigón convencional; para muestras con una separación de 2 mm y 4mm entre superficies agrietadas, la tensión de corte nominal de RAC es un poco más bajo que el del concreto convencional. La diferencia entre la resistencia del agregado y el mortero la fuerza afectará la propagación del camino del crack. Como la calidad de RCA utilizado en esta prueba es alta, la posibilidad de

propagación de grietas a través de las disminuciones de partículas agregadas, mientras que el enclavamiento agregado se mejorará.

5. Comparado con el modelo de Walraven.

Como las ecuaciones en el modelo de Walraven solo se usan para calcular esfuerzo cortante para muestras con un ancho de fisura menor de 1 mm, la comparación entre la prueba y los resultados calculados por Walraven modelo para dos grupos de especímenes (CC-28-0 y RC-28-0) en la Tabla 2. En el modelo de Walraven, la ecuación para la transferencia de esfuerzo cortante a través de superficies agrietadas se propone como Ecuación 2.

Ecuación 2 Ecuación para transferencia de esfuerzo cortante

$$\sigma = \sigma_{pu} (\overline{A_x} - \mu \overline{A_y})$$

$$\tau = \sigma_{pu} (\overline{A_x} + \mu \overline{A_y})$$

A través de la comparación de la Tabla 2, se puede ver que el factor de reducción para todas las muestras es menor que 1.0. Para las muestras CC-28-0-C y RC-28-0-C, el factor de reducción es menor que 0.1. En dicha tabla, se puede encontrar que la dispersión para tensión de corte nominal es muy grande. Los valores de rugosidad superficial de esos dos especímenes son pequeños y la mayoría de las grietas se desarrollaron a través del agregado, por lo que los factores de reducción son muy bajos.

Esta significa que para hormigón de resistencia normal (tanto hormigón convencional y RAC) en este estudio, las predicciones del modelo de Walraven son demasiado alto porque la acción de enclavamiento agregado es limitada. El factor de reducción para el modelo de Walraven se debe considerar cuando usando las ecuaciones para calcular el esfuerzo cortante.

Tabla 2 Factor de reducción

Specimens	Compressive strength f_{cc} (MPa)	First peak shear stress (MPa)	Shear displacement at first peak load	Ra (mm) (Average)	Calculated shear stress (MPa)	Reduction factor
CC-28-0-A	40.91	2.80	3.85	1.8	6.11	0.46
CC-28-0-B	40.91	4.92	2.74	2.5	5.98	0.82
CC-28-0-C	40.91	0.24	3.44	1.5	6.11	0.04
RC-28-0-A	40.18	5.31	3.10	1.8	5.70	0.93
RC-28-0-B	40.18	4.14	3.61	2.3	5.75	0.72
RC-28-0-C	40.18	0.64	2.29	1.7	5.47	0.12

Fuente: Chang et Al. (2017)

6. Proceso para resolver el problema.

Las pruebas de corte se realizaron en una prueba universal MTS máquina. Los especímenes se colocaron en los titulares ilustrados en Figura 3 que se prepararon antes de la prueba. En esta figura P es la vertical carga, S es el desplazamiento de corte a lo largo del plano de corte (el cortante desplazamiento es el componente de desplazamiento de carga a lo largo de la cizalla plano), y es el espacio entre las superficies agrietadas. El portador el diseño se inspiró en la prueba de corte inclinado, que se ha utilizado para prueba el rendimiento de unión al cizallamiento de concreto o mortero. En el medio del soporte, hay un orificio cuadrado de 105 mm de 105 mm y la profundidad del orificio es de 50 mm. Luego dos piezas de especímenes fueron fijadas utilizando la cuña en la parte inferior del soporte. La distancia entre los límites externos de dos piezas de especímenes diseñado como 100 mm. Como el ancho de las muestras antes de dividir fueron diseñados para ser de 96 mm, 98 mm y 100 mm, las lagunas entre las superficies agrietadas eran por lo tanto 4 mm, 2 mm, y 0 mm. La parte superior del soporte se aseguró a la carga cabeza en el punto central. El deslizamiento relativo ocurrió a lo largo de la interfaz entre dos superficies de concreto agrietadas con un ángulo de 60 grados a la horizontal.

El desplazamiento vertical del cabezal de carga fue medido por la máquina MTS. El desplazamiento horizontal de la parte inferior del soporte se midió con dos LVDT dispuestos en un lado. La carga se aplicó con un 1,27 mm / min velocidad en un control de desplazamiento.

Figura 3 Configuración de prueba

Fuente: Chang et Al. (2017)

Principal resultado

Se ha propuesto un nuevo enfoque experimental para estudiar el comportamiento de contacto entre superficies agrietadas de RAC en este documento. En base a los resultados experimentales de 36 especímenes, los principales hallazgos se resumen en lo siguiente:

1. La ruta de propagación de la fisura dividida está influenciada por propiedades mecánicas de ITZ y la fuerza del agregado. Para concreto con agregado de alta resistencia y ZIC débil, la mayoría de las grietas ocurrirán a través de ITZ; de lo contrario, para concreto con agregado de baja resistencia y mortero de alta resistencia, las grietas pasarán por el mortero y el agregado.
2. La rugosidad de la superficie es uno de los factores que tiene un efecto positivo efecto en el comportamiento de contacto. En general, la cizalla nominal el estrés aumenta con el aumento del promedio aspereza.
3. La brecha entre las superficies agrietadas tiene una fuerte influencia en la tensión de corte nominal. Con el aumento de la brecha entre superficies agrietadas de 0 mm a 4 mm, el valor del esfuerzo cortante nominal para diferentes casos disminuyó en 16.9-79%.
4. La influencia del tiempo de curado varió para concreto con diferente tipos de agregados. Con el aumento del tiempo de curado de 7 días a 28 días, la tensión de corte nominal de los convencionales el concreto aumenta en 0.47 veces a 2.86 veces; mientras que la tensión de corte nominal de RAC disminuye en 21.8-65%. Debe tenerse en cuenta que

la RCA en este estudio fue agregado de alta calidad y este hallazgo puede ser aplicable al RAC normal con RCA de baja calidad.

5. 45El tipo agregado es un factor importante que influye en comportamiento de contacto de superficies de concreto agrietadas. En esta prueba, para las muestras curadas durante 7 días, RCA tuvo un efecto positivo en las propiedades de corte; para las muestras que curan durante 28 días, RCA tuvo poco efecto en el comportamiento de contacto concreto a concreto entre superficies agrietadas.

PAPER 02:

Autor (es): Jiangfeng Wu, Linbing Wang, Yue Hou, Zhenyu Qian, Lingjian Meng, Qian Zhao. (2018), en la investigación realizada aplicaron el método hipotético deductivo de enfoque cuantitativo de tipo aplicado de nivel explicativo y diseño pre-experimental y encontraron que:

Aún en la actualidad y con la inclusión constante de la tecnológica, todavía se necesita evaluaciones y análisis exhaustivos de las propiedades agregadas anti desgaste para proporcionar la base para la selección óptima y la utilización de agregado. Esto debido a que la forma y la uniformidad del agregado son difíciles de controlar con la tecnología existente de procesamiento de agregado.

Descripción del aporte del autor.

En el proceso de prueba de desgaste, el pequeño sistema fue adoptado para verificar la viabilidad de la simulación ABAQUS. Un agregado y diez bolas de acero giradas con un rodillo y una unidad de fluido. El criterio de falla de Mohr Coulomb se utilizó para simular el proceso de desgaste del agregado. El factor de amplificación de masa fue de 1000, lo que podría mejorar la eficiencia de cálculo y acelerar la prueba de desgaste simulado. El proceso de prueba de Micro-Deval se simuló con éxito en el software ABAQUS. Se encontró que el agregado y las bolas de acero giran regularmente en el rodillo bajo la acción del bafle y la gravedad, como se muestra en la figura 4.

Figura 4 Prueba virtual de abrasión en ABAQUS

Fuente: Wu et Al. (2017)

El agregado se llevó a colisión y fricción con bolas de acero y bafle de rodillo en la simulación, lo que produciría una distribución de esfuerzos diferente en la superficie del agregado. A través del análisis de tensión plástica, mostró la ubicación en la que el agregado era propenso a deformarse y desgastarse, y la tensión en las cuatro esquinas laterales del agregado fue la más grande, como se muestra en la figura 5. Los resultados de la simulación se compararon con resultados experimentales. En el proceso de simulación de agregado, la relación del elemento agregado se utilizó como un nuevo índice para describir la tasa de abrasión virtual. Q_t era el número de elemento total agregado; Q_s era el número de elemento en la isosuperficie del límite de resistencia. La relación de Q_s y Q_t se consideró como valor agregado de abrasión virtual en la simulación ABAQUS, como se muestra en la Figura.

Figura 5 Análisis de tensión plástica

Fuente: Wu et Al. (2017)

A través de las estadísticas de diferentes elementos, se eligió el elemento 423 en los elementos totales agregados de 32839, por lo que el valor de abrasión virtual del agregado individual fue del 1,288%. Mediante la función de ajuste del agregado de cuarcita, el valor de abrasión del agregado fue 0.1331%. El valor de abrasión fue diferente entre la prueba y la simulación. Muchos factores llevaron al error de cálculo. En primer lugar, solo se usaron un agregado y diez bolas de acero en la simulación, que era diferente con la prueba real. En segundo lugar, la velocidad de rotación fue más rápida que la prueba real. Se aceleró la abrasión del agregado en los mismos tiempos de rotación. En tercer lugar, la determinación de parámetros en el software ABAQUS tuvo un efecto en el resultado de la simulación que necesitaba optimizarse aún más. Por lo tanto, la velocidad de rotación se estableció en 3.14 rad / s, que era tan rápido como el equipo de prueba real y el tiempo todavía era de 1 s. El valor de abrasión virtual del agregado de cuarcita fue de 0.03%, mientras que el valor de abrasión del agregado de ajuste fue de 0.0212%. Aunque el resultado de la simulación no fue preciso, se mantuvo en línea con la ley de cambios agregados en la prueba de MicroDeval.

Con la mejora de la computadora, el tiempo de simulación sería más corto. Cuando se construye la base de datos de modelos agregados con características diferentes, puede usarse en simulaciones repetidas, mientras que los experimentos reales de abrasión Micro-Deval no son experimentos repetibles como se muestra en la figura 6. Puede ser más conveniente y eficiente analizar diferentes tipos de agregados al dar plasticidad material diferente en el modelo. La investigación futura consideraría adoptar más agregados y bolas de acero para simulación y análisis de datos, e incluso ampliarse a estructuras de pavimento bajo carga repetida. Podría adoptar el modelo agregado con diferente angularidad, redondez o uniformidad en la simulación de prueba Micro-Deval.

Figura 6 Elementos del agregado seleccionado

Fuente: Wu et Al. (2017)

Proceso para resolver el problema.

La prueba modificada de Micro-Deval fue adoptada para analizar la resistencia al desgaste de cinco agregados diferentes de acuerdo con los estándares de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM). Se encontró que el valor de abrasión Micro-Deval aumentó exponencialmente en lugar de crecimiento lineal con el aumento de los tiempos de rotación. El equipo de prueba de densidad agregada multifunción CoreLok fue adoptado para medir la densidad aparente agregada. El módulo de elasticidad y la relación de Poisson se midieron por uniaxial test de compresión. Todos los resultados de la prueba proporcionaron soporte de datos preciso para la simulación de desgaste virtual agregado.

Los modelos agregados de modelo 3D, rodillo, bolas, agua y aire se construyeron con el software ABAQUS. El criterio de falla de plasticidad Coulomb Mohr fue adoptado en la simulación de la prueba de abrasión Micro-Deval.

Principal resultado.

En este documento, cinco agregados, incluyendo arenisca roja, basalto, la piedra caliza, la cuarcita y el gneis se tomaron como el objeto de investigación. Las propiedades agregadas, como el valor agregado de abrasión, aparente la densidad, el módulo de elasticidad y la relación de Poisson se midieron por diferentes pruebas. El método de elemento finito fue utilizado con éxito para simular la prueba de abrasión Micro-Deval.

Las conclusiones fueron como sigue:

- ✓ Según la Sociedad Americana de pruebas y materiales (ASTM), se utilizó la prueba Micro-Deval para analizar la resistencia al desgaste de los cinco agregados diferentes en cada 5000 tiempos de rotación. Se encontró que la abrasión Micro-Deval el valor aumentó exponencialmente en lugar de crecimiento lineal que tiene una mayor precisión dentro del error de ajuste del 2%. Eso podría usarse para predecir el valor de abrasión Micro-Deval en diferentes etapas de agregado, y proporcionan una referencia para la optimización de la selección agregada.
- ✓ El equipo de prueba de densidad agregada multifunción CoreLok fue adoptado para medir la densidad aparente de los cinco agregados El método de prueba fue más simple y más conveniente. La densidad aparente de los cinco agregados nombrado arenisca roja, basalto, gneis, piedra caliza y cuarcita respectivamente fueron 2.659 g / cm³, 2.889 g / cm³, 2.669 g / cm³, 2.809 g / cm³ y 2.625 g / cm³. El módulo de elasticidad y la relación de Poisson del agregado de cuarcita se midieron por prueba de compresión uniaxial, que proporcionó datos precisos soporte para la simulación de prueba de Micro-Deval agregado.
- ✓ La prueba virtual Micro-Deval se logró utilizando un elemento finito método en el software ABAQUS. El método de cálculo del valor de abrasión virtual se presentó y la simulación el resultado se mantuvo en línea con el resultado experimental. El método de simulación tiene respetabilidad y operatividad que se puede usar para analizar las propiedades agregadas y predecir el rendimiento del servicio del material de construcción.

PAPER 03:

Autor (es): Mohamed Ibrahim Hachani, Abdelouahed Kriker, Mehdi Seghiri. (2018), en la investigación realizada aplicaron el método hipotético deductivo de enfoque cuantitativo de tipo aplicado de nivel explicativo y diseño pre-experimental, encontraron que:

Las propiedades físicas y mineralógicas de los agregados afectan directamente las propiedades de algunos tipos de mezclas (cementaciones, asfálticas). Las propiedades físicas de los agregados son la gradación, la forma, la textura de la superficie, la tenacidad y la absorción. Estas propiedades controlan principalmente el rendimiento de las mezclas. La angularidad de los agregados es un factor primario que afecta la viabilidad. Cuantas más

mezclas de hormigón sean viables, más compactables. En esta investigación se eligieron dos tipos de hormigones para realizar un estudio experimental y comparativo, centrándose en la fase sólida, precisamente el efecto de la forma de agregado grueso sobre el comportamiento mecánico del hormigón. Esos dos tipos son:

- Hormigón hecho con agregado grueso redondeado (GR-Concreto)
- Hormigón hecho con agregado grueso triturado (GC-Concreto).

Descripción del aporte del autor

1. Prueba de asentamiento

Algunos especímenes cúbicos y prismáticos representativos. Para mantener el mismo rango de trabajabilidad (caída = 80 mm) en las dos mezclas de (GR y GC), una mayor el contenido de agua fue requerido para el GC-Concreto. Esta ha sido la razón de obtener una mayor W / C (cemento de agua relación) para el concreto GC comparado con el hormigón GR en aproximadamente un 15%. Esta mayor demanda de agua en el GC la mezcla es el resultado de dos factores:

- La dificultad impuesta por la forma rugosa y aplastada que hacía que necesitara más agua para dejarla más factible.
- El agregado triturado tiene una mayor área de superficie que el agregado redondeado, por lo que necesita más agua para llenar todas las superficies.

2. Fuerza compresiva

No es necesario argumentar que la resistencia a la compresión es la propiedad más importante del concreto desde la resistencia a la compresión presenta una imagen general de la calidad y las propiedades del hormigón, y es invariablemente un elemento vital elemento del diseño estructural. Esta prueba se aplicó a muestras cúbicas (150x150x150) mm. Figura 7, los resultados de resistencia se presentan en la Figura 8, GR-Concrete es más resistente a la tensión de compresión que GC-Concrete por aproximadamente 30% en el día 7 y 26% en el día 28..

Figura 7 Ensayo de compresión

Fuente: Mohamed et Al. (2018)

Figura 8 Resultados de ensayo de compresión

Fuente: Mohamed et Al. (2018)

3. Resistencia a la tracción de flexión y división

Se sabe que la forma del agregado grueso afecta directamente el rendimiento de los hormigones especialmente tensiles fuerza por eso se realizaron dos pruebas de tracción. La prueba de flexión se aplicó a muestras prismáticas (100x100x400) mm. Figura 9 y la prueba de división a muestras cúbicas (150x150x150) mm. Figura 10.

Figura 9 Prueba de resistencia a la flexión

Fuente: Mohamed et al. (2018)

Figura 10 Prueba de resistencia a la tracción

Fuente: Mohamed et Al. (2018)

Como lo que se obtuvo de la prueba de compresión; GR-Concrete también fue más eficiente que GC-Concrete en las pruebas de tracción (flexión y división). Figura 11 y 12, respectivamente. La resistencia a la tracción a la flexión de GR-Concrete aumentó en aproximadamente 45% a 46% en 7 y 28 días comparando al GC: fortalezas concretas La

eficiencia de GR-Concrete frente a la resistencia a la tracción fue confirmada por prueba de división donde el aumento de la resistencia a la tracción alcanzó 32% en 7 días y 38% en 28 días.

Figura 11 Resultado Prueba de resistencia a la flexión

Fuente: Mohamed et Al. (2018)

Figura 12 Resultado Prueba de resistencia a la tracción

Fuente: Mohamed et al. (2018)

Todos los resultados de las pruebas, la relación creciente y decreciente se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3 Característica de agregado GR y GC

	GR-Concrete		GC-Concrete		decreasing ratio %	
	7 day	28 day	7 day	28 day	7 day	28 day
Water/Cement Ratio	0.53		0.61		Increasing by 15	
Compressive strength (MPa)	24.53	29.09	17.12	21.57	30	26
Flexural Tensile strength (MPa)	2.49	3.64	1.37	1.98	45	46
Splitting Tensile strength (MPa)	2.62	3.18	1.77	1.97	32	38

Fuente: Mohamed et al. (2018)

Proceso para resolver el problema

Para obtener una posible comparación ideal entre los dos tipos de hormigón HMA, agregado natural redondeado (no triturado) (<14 mm) y rocas de piedra (> 30 mm) traídas del mismo valle (Ouade N'SA) se utilizaron, con el fin de garantizar las mismas características químicas y mineralógicas.

Los agregados redondeados (GR) se lavaron cuidadosamente y se usaron directamente en la confección del tipo (GR-hormigón), mientras que las piedras de cantos rodados también fueron lavadas después de ser aplastadas en una trituradora giratoria. Los agregados triturados obtenidos (GC) se usaron en el tipo de confitería (GC-Concreto).

El objetivo principal de este estudio es encontrar la respuesta a la siguiente pregunta: “Entre dos tipos concretos confeccionados con agregados gruesos que tienen las mismas características químicas y mineralógicas y diferente forma; agregado redondeado (GR) y agregado triturado (GC)”. ¿Cuál de estas mezclas es la más eficiente?

- Hormigón hecho con agregado grueso redondeado (GR-Concreto)
- Hormigón hecho con agregado grueso triturado (GC-Concreto)

Principal resultado.

Finalmente, se concluye:

- El agregado redondeado es más resistente que el agregado triturado cuando se muestran los resultados de abrasión de LA y MDE.
- La trituradora giratoria utilizó un agregado de producto con una alta proporción de aplanamiento que afecta a LA y MDE resultados de abrasión.

- El uso de agregado redondeado mejora la trabajabilidad del concreto fresco, por lo tanto; GR-Concrete necesita menos agua que GC-Concrete para obtener el mismo grado de asentamiento.
- GR-Concrete necesita menos agua, por lo que la relación w / c disminuye cuando se utiliza un agregado redondeado.
- La disminución de la relación w / c ratio para la mejora del rendimiento del hormigón como compresión y resistencia a la tracción.
- La incorporación de agregado redondeado en lugar de agregado triturado mejora en aproximadamente un 26% la compresión resistencia, 46% de resistencia a la tracción a la flexión y 38% a la resistencia a la tracción.

Globalmente, los resultados de esta investigación son satisfactorios; sin embargo, el efecto de la característica de agregado en el concreto requiere una mayor investigación. En este sentido, otro agregado artificial producido por otros tipos de trituradoras debe ser probado para generalizar la conclusión.

PAPER 04:

Autor (es): Ke Zhang, Zhengqi Zhang, Yaofei Luo, Siyuan Huang. (2018), en el trabajo de investigación realizado aplicaron el método hipotético deductivo de enfoque cuantitativo de tipo aplicado de nivel explicativo y diseño pre-experimental, encontraron que:

En la actualidad, una gran cantidad de índices de distribución de agregados basados en la tecnología de procesamiento de imágenes digitales fueron presentados. Pero no hay normas de clasificación de confianza en estos índices de evaluación, y la diferencia de la segregación de pavimento de asfalto no puede distinguirse claramente. Mientras tanto, debido a la complejidad del problema de la segregación agregado, la forma de evaluar el grado de segregación de pavimento asfáltico de forma rápida, objetiva y eficaz sigue siendo un punto de acceso. Además, las muestras de núcleo se perforaron en zonas de segregación de superficie, y se encontró que la segregación provocada por árido dentro del pavimento no se produce. La segregación del agregado de superficie del pavimento no es consistente con la estructura interna. En estudios anteriores, la segregación agregado de pavimento de asfalto ha sido ampliamente evaluado por el índice tal como la profundidad de textura de superficie del pavimento, superficie del pavimento y la estructura interna son ambas partes orgánicas de pavimento de asfalto. De acuerdo con la distribución de agregados de

superficie del pavimento y la estructura interna, la uniformidad de la construcción de pavimento de asfalto se puede evaluar de forma más racional.

Descripción del aporte del autor.

Adquisición de imágenes de la superficie del pavimento y estructura interna.

1. Adquisición de imágenes de la superficie del pavimento asfáltico.

En este documento, el PSIAD fue desarrollado para unificar la condición de luz de adquisición de imágenes, por lo tanto, puede obtener la textura de la superficie del pavimento imagen con buena estabilidad y efecto. Para lograr mejores resultados de imágenes, la altura del LED las lámparas en PSIAD se pueden ajustar hacia arriba y hacia abajo dentro de un cierto rango, que asegura que la cámara está en el ángulo lateral a lo largo el rango de 30-45 con la fuente de luz. La depuración de PSIAD debe realizarse antes de la superficie del pavimento bidimensional imagen de la textura recogida, y los detalles se pueden ver en la figura 13.

Figura 13 Detalle de PSIAD

Fuente: Ke Zhang et Al. (2018)

2. Adquisición de imágenes dentro del pavimento de asfalto.

El sistema TIC generalmente incluye fuente de rayos, colimador, detectores, sistema de escaneo de muestra, sistema de adquisición de datos, computadora sistema y sistemas auxiliares. La fuente del rayo suele ser rayos X. El principio de escaneo de las TIC se muestra en la figura 14. En este documento, el sistema de TIC del Laboratorio Vial de la Universidad de Chang'an fue seleccionado para obtener las imágenes de la muestra del núcleo del pavimento. El modelo del equipo es Y. CT Precisión S fabricado por YXLON Company en Alemania. El sistema de obtención de imágenes por tomografía de precisión Y. CT utiliza

fuelle de rayos de micro enfoque que puede lograr una resolución de nivel um. La distancia de escaneo puede alcanzar 0.1 mm, por lo que el equipo es adecuado para la detección de defectos leves con alta precisión. Y. CT Precisión El equipo S puede lograr un escaneo no destructivo de estructura para muestras de núcleo de pavimento de asfalto.

Figura 14 Escaneo principal de ICT

Fuente: Ke Zhang et Al. (2018)

3. Método de detección de la uniformidad de distribución agregado de superficie del pavimento.

La evaluación de uniformidad de distribución agregada basada en macro textura anchura La textura de la superficie del pavimento de asfalto incluye microestructura y macro estructura. La micro estructura es la estructura superficial mínima de agregados en la superficie del pavimento. La macro estructura refleja la brecha entre los agregados en superficie del pavimento. El PSIAD se usó para recolectar imágenes de superficie en diferentes áreas de pavimento de asfalto. En estas áreas del agregado la segregación ocurre y varía en diferentes grados, como se muestra en la figura 15.

Figura 15 Variación de segregación en agregado

Fuente: Ke Zhang et Al. (2018)

Desde la perspectiva tridimensional, la macro estructura la profundidad de la mezcla de segregación de agregados finos es significativamente más pequeña que la de la mezcla de segregación de agregado grueso, y la macro estructura profundidad de ninguna mezcla de segregación es entre los dos. Desde la perspectiva del plano bidimensional, en la figura 16, ancho del área cóncava de macro estructura de segregación agregada fina la mezcla (ancho de la macro estructura) es significativamente menor que el de la mezcla de segregación de agregado grueso, y la macro estructura ancho de ninguna mezcla de segregación es entre los dos.

Figura 16 The binary and skeleton image of asphalt pavement surface.

Fuente: Ke Zhang et Al. (2018)

4. Método preciso de detección y evaluación para agregado distribución de pavimento de asfalto.

La autopista Tong-Xun es una parte importante de Heyang Fengxiang Línea en la planificación de la red de autopistas " 2367 " de Shaanxi, Provincia. En la capa intermedia de la autopista Tong-Xun, la sección A y B con una longitud de 1000m fueron seleccionados al azar como prueba secciones para evaluar la uniformidad de la distribución agregada de pavimento de asfalto Dos secciones fueron construidas por diferentes empresas al mismo tiempo. Materiales de pavimento de las dos secciones fueron mezcla de asfalto AC20. De acuerdo con los resultados de la prueba, la diferencia de calidad de construcción entre dos empresas puede ser evaluada, lo que puede proporcionar algunas referencias para el proyecto pago de los propietarios.

En primer lugar, se recolectó la imagen de la textura de la superficie del pavimento de asfalto por PSIAD. La distancia lateral de adquisición de imágenes es de 1,5 m y el espaciamiento

longitudinal es de 50 m. Las imágenes de la superficie del pavimento fueron procesadas por el software MATLAB. La macro estructura ancho K de diferentes áreas en la sección A y B se calcularon por función auto compilado, y los resultados se muestran en la Tabla 4 y 5. Los datos de prueba en la Tabla 6 y la Tabla 7 se analizaron estadísticamente de acuerdo con los criterios de evaluación de la distribución agregada de uniformidad. Los resultados del análisis fueron la relación de detección número de punto de conexión correspondiente a cinco segregaciones diferentes niveles hasta el número total de puntos de detección, como se muestra en la Tabla 6, las áreas donde la segregación agregada no ocurre en la sección A y B son 72.8% y 81.4%, respectivamente. Diferentes grados de segregación agregada ocurren en el local áreas en dos secciones de prueba. En varios grados de segregación, el área de segregación agregada clara representa aproximadamente el 50% de todas las áreas de segregación en la sección A y B. Y la proporción del área de segregación agregada en el nivel alto es la más pequeña en dos secciones. De acuerdo con los datos estadísticos en dicha Tabla, la relación de detección puntos en la superficie de la sección de prueba B que agregan la segregación no ocurre es 8.6% más alta que la de la sección A. Y la proporción de varios otros niveles de segregación en B es también menor que el de la sección A. En resumen, la distribución agregada la uniformidad en la superficie de la sección de prueba B es relativamente mejor que la sección A. El valor medio del ancho de la macro estructura K de las diferentes áreas en la sección A y B son 2.35 y 2.34 respectivamente. Las dos secciones pertenecen al alcance de la no segregación.

De acuerdo con los criterios de evaluación de segregación agregada del pavimento superficie. En segundo lugar, las densidades de las secciones de prueba A y B fueron medidos por el Indicador de Calidad del Pavimento (PQI) de acuerdo con la frecuencia de espaciado transversal de 1,5 mm espaciamiento longitudinal 50m Los puntos representativos de alta, media y baja densidad se determinaron de acuerdo con la proporción de áreas con densidad diferente Las muestras del núcleo fueron perforadas en un representante puntos como las muestras de núcleo representativas para la sección de prueba. La exploración por TC se realizó en muestras representativas de núcleos Equipo de TIC. Las imágenes de TC de la muestra central representativa fueron procesadas por el software MATLAB. Los agregados gruesos en la imagen seccional se tomaron como objeto de estudio y la uniformidad de distribución índices de evaluación de agregado grueso en muestras de núcleos se calcularon el valor medio (D) de la uniformidad horizontal coeficiente (Dh) y el coeficiente de uniformidad vertical (Dv) de muestras de núcleos representativos para las

secciones A y B se mostraron en Tabla 7. Para evaluar la uniformidad de la distribución agregada en el interior sección A y B de manera efectiva, la sección de prueba cuya temperatura el control es bueno, la pavimentación es continua y la compactación es suficiente fue seleccionado como la sección de referencia. Las imágenes CT de cuatro núcleos las muestras fueron procesadas por el software MATLAB. Las evaluaciones índices de uniformidad de distribución agregada como Du, DV1 y Dv2 se calcularon el valor medio de cada índice en diferentes núcleos las muestras se tomaron como el estándar de evaluación para la distribución agregada uniformidad dentro de las secciones de prueba, como se muestra en la Tabla. El valor medio de cada índice en diferentes muestras de núcleo de la sección A y B se compararon con el estándar de evaluación. Se encontró que el valor de Dv1 y Dv2 dentro de la sección A es más pequeña que la evaluación estándar, pero el valor medio de Dh es más grande que el estándar de evaluación. La uniformidad de la distribución del agregado en la dirección horizontal es pobre y el requisito general no puede ser satisfecho. Además, la horizontal distribución de agregados gruesos en la muestra central 3, 4, 5, 6, 7 y 10 de la sección A era desigual, y la distribución vertical del agregado grueso en las muestras de núcleo 3, 4, 5, 6 y 10 no fue uniforme. Y el valor medio de Dh, Dv1 y Dv2 dentro de la sección B es más pequeño que el estándar de evaluación. Se puede ver que la uniformidad de distribución del agregado grueso dentro de la sección B es generalmente bueno. Además, la distribución horizontal de grueso los agregados en la muestra central 3 y 10 de la sección B fueron desiguales, y la distribución vertical del agregado grueso en la muestra central 3, 6 y 10 no era uniforme.

Tabla 4 Macro estructura del pavimento Sección A

Longitudinal Distance/m	Distance from separation zone/m						
	0.5	2.0	3.5	5.0	6.5	8.0	9.5
50	2.25	2.33	2.28	2.39	2.27	2.25	2.36
100	2.34	2.21	2.48	2.24	2.49	2.35	2.32
150	2.29	1.94	2.22	2.36	2.35	2.29	2.67
200	2.32	2.35	2.33	2.78	2.25	2.43	2.31
250	2.28	2.32	2.48	2.39	2.31	2.28	2.27
300	2.36	2.28	2.32	2.34	2.34	2.44	2.28
350	2.24	2.86	2.25	2.54	2.28	2.33	2.36
400	2.35	2.28	2.25	2.22	2.07	2.24	2.37
450	2.57	2.41	2.29	2.45	2.24	2.28	2.51
500	2.33	2.53	1.95	2.24	2.33	2.42	2.22
550	2.91	2.35	2.02	2.3	2.37	2.13	2.37
600	2.37	2.22	2.36	2.34	2.69	2.33	2.55
650	2.01	2.71	3.05	2.05	2.39	2.25	2.24
700	2.25	2.27	2.39	2.28	2.45	2.27	2.59
750	2.58	2.28	2.33	2.52	2.38	2.12	2.29
800	2.25	2.56	2.24	2.35	2.26	2.31	2.32
850	2.39	2.34	2.64	2.36	2.31	2.83	2.39
900	2.32	2.4	2.25	2.47	2.34	2.42	2.33
950	2.38	2.27	2.34	2.32	2.29	2.25	2.28
1000	2.27	2.35	2.36	2.28	2.31	2.36	2.77
$\bar{K}$	2.35						

Tabla 5 Macro estructura del pavimento Sección B

Longitudinal distance/m	Distance from separation zone/m						
	0.5	2.0	3.5	5.0	6.5	8.0	9.5
50	2.22	2.31	2.29	2.42	2.39	2.24	2.27
100	2.25	2.28	2.34	2.25	2.44	2.33	2.24
150	2.22	2.25	2.33	2.78	2.31	2.3	2.28
200	2.31	2.28	2.46	2.32	2.27	2.11	2.25
250	2.29	2.36	1.93	2.35	2.26	2.36	2.34
300	2.42	2.25	2.34	2.29	2.32	2.28	2.26
350	2.39	2.44	2.22	2.63	2.45	2.55	2.31
400	2.24	2.33	2.3	2.36	2.28	3.14	2.29
450	2.27	2.24	2.41	2.81	2.25	2.34	2.37
500	2.08	2.28	2.32	2.28	2.28	2.25	2.28
550	2.37	2.35	2.31	2.36	2.35	2.28	2.29
600	2.39	2.32	2.38	2.32	2.34	2.33	2.36
650	2.52	2.21	2.40	2.27	2.36	2.78	2.22
700	2.28	2.33	2.33	2.58	1.99	2.34	2.36
750	2.34	2.33	2.24	2.28	2.35	2.32	2.61
800	2.31	2.34	2.29	2.31	2.36	2.27	2.32
850	2.25	2.25	2.33	2.24	2.28	2.35	2.32
900	2.39	2.24	2.27	2.08	2.37	2.89	2.52
950	2.28	2.12	2.33	2.28	2.35	2.31	2.24
1000	2.43	2.35	2.38	2.39	2.67	2.39	2.25
$\bar{K}$	2.34						

Tabla 6 Variaciones de las proporciones de las secciones A y B

Testing sections	Segregation degree				
	F	N	L	M	H
A	5.7	72.8	14.3	4.3	2.9
B	4.3	81.4	8.6	3.6	2.1

Tabla 7 Distribución uniforme de las secciones A y B

Section	Index	Serial number of core samples										Mean value
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	$\overline{D_H}$	0.131	0.145	0.176	0.153	0.164	0.162	0.149	0.143	0.137	0.182	0.154
	D_{V1}	0.087	0.092	0.104	0.101	0.098	0.105	0.097	0.094	0.081	0.126	0.099
	D_{V2}	0.142	0.158	0.174	0.178	0.185	0.178	0.166	0.151	0.153	0.174	0.166
B	$\overline{D_H}$	0.129	0.132	0.158	0.128	0.133	0.142	0.134	0.138	0.119	0.151	0.136
	D_{V1}	0.105	0.087	0.112	0.094	0.105	0.087	0.079	0.093	0.092	0.110	0.096
	D_{V2}	0.147	0.155	0.152	0.160	0.157	0.196	0.140	0.156	0.131	0.173	0.157

Tabla 8 Evaluación y distribución uniforme de las secciones A y B

Evaluation index	Serial number of core samples				Mean value
	1	2	3	4	
$\overline{D_H}^*$	0.139	0.140	0.145	0.154	0.145
D_{V1}^*	0.095	0.102	0.113	0.125	0.109
D_{V2}^*	0.141	0.175	0.188	0.172	0.169

Proceso para resolver el problema.

Se desarrolló el dispositivo de adquisición de imágenes superficie del pavimento (PSIAD) basado en cámara CCD y el sombreado negro-caja. Mediante el ajuste de la altura de la

fuentes de luz LED, el PSIAD puede unificar la condición de la luz de adquisición de imagen, obteniendo de este modo la imagen de textura superficie del pavimento con buena estabilidad y efecto. Asimismo, el PSIAD puede evitar el error de información de la imagen original de la textura causado por el cambio de las condiciones de luz. Esto es ventajoso para la evaluación de la uniformidad de distribución agregada en la superficie del pavimento mediante el procesamiento de la imagen de textura.

La anchura macro-estructura K de pavimento de asfalto bien puede representar la profundidad de textura de pavimento de asfalto con diferentes grados de segregación, y puede ser utilizado para evaluar la uniformidad de distribución de agregados en la superficie de pavimento de asfalto. De acuerdo con el rango de distribución de K valores de placas paralelas con diferentes grados de segregación, se estableció el criterio de evaluación de la uniformidad de distribución agregada en la superficie del pavimento de asfalto. Los K valores para AC13, AC20 y AC25 mezcla de asfalto con la segregación severa son mayores que 2.00, 2.80 y 3.40 respectivamente. La mezcla de asfalto con la segregación grave se debe evitar en la ingeniería práctica.

Finalmente, teniendo en cuenta las características de las imágenes de TC, se establece que el área central es oscura y el brillo aumenta gradualmente desde el centro hacia el borde; un algoritmo de segmentación de umbral adaptativo que combina en forma de anillo partición con umbral iterativo fue propuesto para CT imagen de muestras de núcleo de pavimento. Asimismo, El coeficiente de uniformidad horizontal (D_h), el coeficiente de uniformidad vertical (D_{v1}) y el coeficiente de uniformidad vertical (D_{v2}), fueron propuestos para evaluar la distribución y uniformidad del agregado grueso dentro del pavimento de asfalto.

Principal resultado.

En base a los resultados de las pruebas de dos secciones, se puede ver que la uniformidad de distribución agregada de la sección A no es uniforme; especialmente la uniformidad de distribución dentro del pavimento no puede cumplir los requisitos. La distribución agregada en la superficie y dentro del pavimento de la sección B generalmente pertenece a la no segregación. Pocas áreas locales del agregado están segregadas. La distribución agregada de la sección B puede considerarse uniforme.

En resumen, la uniformidad de distribución agregada de la sección B es relativamente mejor que el de la sección A. La segregación de agregados en el pavimento asfáltico puede deberse al pobre control de calidad de la construcción. La carga-descarga forma de mezcla de asfalto

y la condición de funcionamiento del transporte el vehículo afectará la distribución agregada de la mezcla. La pausa o falla mecánica de la extendedora de asfalto durante el proceso de pavimentación y la compactación retardada de la mezcla de asfalto después de la pavimentación también causa la segregación de la mezcla de asfalto.

Entonces el control impropio de cualquier parte de la mezcla, transporte, pavimentación y compactación de la mezcla de asfalto causaría la segregación de agregados. Se puede considerar que el control de calidad de la construcción de la empresa para la prueba de la sección B es mejor que la de la sección A.

1.4. Formulación del problema.

¿En qué manera la variabilidad de la distribución granulométrica del agregado influye en la deformación permanente del micropavimento en el proyecto de conversión vial complementario en Huancavelica Tramo V: Acobamba-Puente Alcomachay?

1.5. Hipótesis.

Se verifica la existencia de deformación permanente con desplazamiento lateral mayor al 5% en la capa de Micropavimento a consecuencia de la variabilidad de la granulometría de la arena en los tamaños entre medias a finas, tamices N°30 Y >N°200, determinado por el huso granulométrico de acuerdo a norma.

En la tabla 9, se puede apreciar la hipótesis y los indicadores con los que se evaluará.

Tabla 9 Indicador de logro de Hipótesis

Hipótesis	Variable	Indicador	Forma de Medición
Se verifica la existencia de deformación permanente con desplazamiento lateral mayor al 5% en la capa de Micropavimento a consecuencia de la variabilidad de la granulometría de la arena	Integridad de la Mezcla	Ensayo de la Rueda Cargada MTC E 418, ISSA TB 109	g/m ²
	Desgaste superficial	Ensayo de Abrasión en Húmedo MTC E 417 e ISSA TB 100	g/m ²

en los tamaños entre medias a finas, tamices N°30 Y >N°200, determinado por el huso granulométrico de acuerdo a norma.	Porcentaje de adhesión	PRUEBA SCHULZE BREUER AND RUCK ISSA TB 144	Puntaje
--	------------------------	--	---------

Fuente: Propia (2018)

1.6.Objetivos.

1.6.1. Objetivo General

Evaluar la influencia de la variabilidad granulométrica en la deformación permanente de Micropavimentos dentro del huso granulométrico teórico tipo III mediante ensayos de desempeño en laboratorio.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Estimar el desplazamiento lateral del espécimen ensayado en la rueda cargada, el cual esté vinculado a la deformación permanente.
- Evaluar por desempeño en laboratorio las propuestas de dosificación teórica para las diversas curvas granulométricas representativas dentro del huso tipo III.
- Proponer una mejora para el huso granulométrico tipo III de la EG2013 en los tamaños entre las arenas medias y finas, tamices N°30 y >N°200.

En la Tabla 10 y Tabla 11 se mencionan los objetivos y los indicadores de logro de éstos.

Tabla 10 Indicador de Logro de Objetivo General

OBJETIVO GENERAL	INDICADORES DE LOGRO
Evaluar la influencia de la variabilidad granulométrica en la deformación permanente de Micropavimentos dentro del huso granulométrico teórico tipo III mediante ensayos de desempeño en laboratorio.	Ensayos teórico – experimental de laboratorio que evalúan desempeño. Prueba de abrasión en húmedo (ISSA TB 100), Prueba de rueda cargada (ISSA TB 109), Prueba de Cohesión (ISSA TB 139) y Prueba Schulze Breuer and Ruck (ISSA TB 144).

Fuente: Propia (2018)

Tabla 11 Indicador de Logro de Objetivos Específicos

OBJETIVOS ESPECIFICOS	INDICADOR DE LOGRO
Estimar un desplazamiento lateral del espécimen ensayado en la rueda cargada, el cual esté vinculado a la deformación permanente.	Prueba de rueda cargada (ISSA TB 109)
Evaluar por desempeño en laboratorio las propuestas de dosificación teórica para las diversas curvas granulométricas representativas dentro del huso tipo III.	Prueba de abrasión en húmedo (ISSA TB 100), Prueba de rueda cargada (ISSA TB 109), Prueba de Cohesión (ISSA TB 139) y Prueba Schulze Breuer and Ruck (ISSA TB 144).
Proponer una mejora para el huso granulométrico tipo III de la EG2013 en los tamaños entre las arenas medias y finas, tamices N°30 y >N°200 para espesores de 1cm.	Realizar diversos diseños de micropavimentos

Fuente: Propia (2018)

1.7.Conservación vial

Contexto

La Conservación vial puede definirse como el grupo de actividades de obras de ingeniería vial, que son necesarias realizarse de forma urgente cada vez que se descubre un deterioro del camino, y que es necesario ser subsanado en el menor tiempo de ejecución desde el momento en que es descubierto. Por ello, el seguimiento diario de forma visual del camino, es una actividad de rutina básica para la conservación vial; y por ello se le da el nombre de "conservación rutinaria" que son el grupo de actividades de corrección inmediata de defectos. La segunda parte se califica como "conservación periódica", está compuesta por obras que reúnen aspectos que no pueden repararse inmediatamente, pero que si son visibles y mediante la experiencia y el flujo del tráfico, son programables para ser realizadas por tramos viales, cuya primacía se certifica en el campo por medio de los registros de estado del camino. (Manual de Carreteras-Conservación Vial, 2013)

El mantenimiento de la infraestructura de transporte, y particularmente el de las carreteras, ha adquirido considerable importancia durante las últimas décadas. La disponibilidad de vías adecuadas para el transporte es esencial, tanto para garantizar la competitividad y capacidad exportadora de los países como para promover su desarrollo local y la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, a medida que las redes viales son utilizadas por el transporte éstas se van deteriorando, y si no se mantienen oportuna y adecuadamente, ese deterioro alcanza niveles que pueden requerir su reconstrucción en períodos relativamente cortos con relación a la vida útil prevista en la decisión de inversión original. (Corporación Andina de Fomento-CAF, 2010)

Definición

La conservación vial se puede definir como un tipo de contratación, que abarca un grupo de actividades planteadas para lograr una preservación de la vida útil de la infraestructura vial; para poder brindar un servicio de calidad a los usuarios. A continuación, en la Figura 17, se presentará los elementos principales que componen las etapas de un contrato de conservación vial.

Figura 17 Etapas del contrato de conservación

Fuente: Palomino, M. y Rodríguez, E. (2018)

En la Figura 17, se aprecia que un contrato de conservación vial presenta tres etapas. En primer lugar está la conservación rutinaria, el cual se encuentra integrado por el mantenimiento rutinario inicial, el programa de gestión vial y transitabilidad, que buscan mantener los niveles de servicio, generalmente estas actividades tienen un

periodo de actividad de medio año. En segundo lugar está la Conservación Periódica, que se desarrolla en fechas establecidas (hitos) contando con un intervalo de tiempo especificado, para poder restablecer las condiciones de servicio, su duración es de un año. En tercer lugar se procede a realizar un mantenimiento rutinario después del mantenimiento periódico, con una duración, para concluir el plazo del contrato, de tres años y medio. (Palomino, M. y Rodríguez, E. 2018)

Conservación Rutinaria

Es el conjunto de actividades que se ejecutan en las vías con naturaleza permanente para preservar su rendimiento. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y compuestas por tareas de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud; también abarca el aseo o refacción de señales y/o elementos de seguridad, juntas de dilatación, elementos de apoyo, pintura de elementos específicos de puentes y drenaje en la superestructura y subestructura de los puentes. (Manual de Carreteras-Conservación Vial, 2013)

Conservación Periódica

Es el conjunto de actividades, establecidas para determinados periodos de tiempo, que se realizarán en las vías para refaccionarlas y reestablecer sus condiciones de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están sujetas a:

- i) reposición de capas de rodadura, colocación de capas nivelantes y sello,
 - ii) reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores del pavimento
 - iii) reparación o reconstrucción puntual de túneles, muros, obras de drenaje
 - iv) reposición o instalación de elementos de seguridad vial y señalización
 - v) reparación o reconstrucción puntual de la plataforma de carretera
 - vi) reparación o reconstrucción puntual de los componentes de los puentes tanto de la superestructura como de la subestructura y pintado general del puente.
- (Manual de Carreteras-Conservación Vial, 2013)

1.8.Descripción del proyecto

Antecedentes

Mediante el Concurso Público N° 0037-2012-MTC/20 en el cual se realiza la convocatoria para la contratación del “Servicio de Gestión y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial: Huancavelica – Lircay –EMP. PE-3S (Huallapampa) y EMP. PE-3S (La Mejorada) – Acobamba – EMP. PE 3S (Puente Alcomachay)”, COSAPI y MOTA ENGIL PERU, deciden formar el Consorcio Vial Acobamba, al cual se le otorga la Buena Pro el 10 de junio de 2013.

Posterior a ello con fecha 16 de abril de 2018 y mediante Oficio N° 213-2018-MTC/20.7, el Consorcio Vial Acobamba recibió la solicitud de la Gerencia de Unidad de Conservación de Provías nacional (PVN) de la Propuesta Técnica Económica para la evaluación de la firma de un Contrato Complementario, el cual se estaría aceptando el 07 de mayo de 2018 y mediante la Carta 29690-CAR-C01-2018-019 se le comunica a la Jefatura Zonal de PVN Sede Huancavelica que en señal de aceptación del Contrato Complementario, viene elaborando la Propuesta Técnica Económica a fin de continuar con el Servicio de Conservación Vial del Contrato Primigenio.

El proyecto está dividido en cinco tramos a los cuales se les brindó el servicio de mantenimiento vial. A continuación, en la Tabla 12. Se presentarán las características principales de cada tramo y en la Figura 18, se mostrará el Layout General del Proyecto.

Tabla 12 Características principales del proyecto

Código de Ruta	Tramo	Calzada	Trayectoria	Inicio Progresiva	Fin Progresiva	Longitud (Km)
PE26B	Tramo 1	CD500	Salida Seclla – Emp. PE3S	132+294	187+404	55.11
	Tramo 2	CD501	Ingreso Lircay – Salida Seclla	73+095	132+294	59.199
	Tramo 3	CD	Entrada Huancavelica – Ingreso Lircay	0+000	73+095	73.095
PE3SM	Tramo 4	CD500	Emp. PE3S – Salida Acobamba	0+000	92+310	92.31
	Tramo 5	CD501	Salida Acobamba – Emp. PE3S	92+310	156+706	64.396
Total						344.11

Fuente: COSAPI (2018)

Figura 18 Layout general del proyecto

Fuente: COSAPI (2018)

Este servicio de mantenimiento vial se debe a que durante el periodo desde que se terminó el contrato Primigenio, el número de vehículos aumentó y por ello se ve la necesidad de ejecutar ciertas partidas de manera de conservar los estándares solicitados por Provías nacional, en este caso presentado en el proyecto de investigación se basará los criterios de evaluación por medio del Índice de Condición del Pavimento y del IRI.

De acuerdo a la Norma ASTM D 6433, el PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, proporcionando de esta manera una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento, en la Figura 19 se podrá apreciar las clasificaciones existentes en el PCI.

Figura 19 Ilustración del PCI

Fuente: COSAPI (2018)

Se recomienda intervenir en sectores por debajo de un PCI menor o igual a 40, en la Figura 20 se muestra la Evaluación de Deterioros Superficiales llevado a cabo mediante el PCI.

Figura 20 Evaluación del deterioro Superficial Tramo I

Fuente: COSAPI (2018)

El metrado obtenido de los sectores con PCI “pobre, muy pobre y colapsado” es tomado en cuenta para la elaboración de la partida “Estabilización de Base Granular”, que a su vez conforma la etapa de los trabajos periódicos propuestos.

En resumen se está sugiriendo la intervención de algunos sectores de acuerdo al análisis y al recorrido en campo que se puede apreciar en la Tabla 13. Cantidad a intervenir.

Tabla 13 Cantidad a intervenir

Tramo	Area Real Micropavimento	Porcentaje (%)	Metrado a intervenir (en m2)	Volumen a intervenir (en m3)
I	262,585.45	14.52%	38,127	3,813
II	220,971.91	2.91%	6,430	643
III	NA			
IV	449,367	5.15%	23,142	2,314
V	291,194	4.89%	14,239	1,424

Fuente: COSAPI (2018)

El tramo III a causa de que se ha llevado a cabo un mejoramiento en ésta recientemente no se llevando a cabo la partida de Estabilización de Base Granular.

Ubicación

El proyecto vial reside en la provincia de Acobamba, teniendo éste una longitud de 64.396 Km. El tramo seleccionado inicia en la salida del distrito de Acobamba y finaliza cerca al del puente Alcomachay y empalma a la ruta PE-3S.

Geográficamente la provincia Acobamba se encuentra ubicado en el nor-este de Huancavelica, forma parte de las 7 provincias de esta región. En la Figura 21, se puede apreciar la ubicación en el mapa geográfico de esta provincia.

Figura 21 Mapa geográfico de Alcomachay

Fuente: COSAPI (2018)

Clima

El clima de la Provincia de Acobamba, como en la mayor parte de las ciudades ubicadas en los Andes Peruanos, está determinado por la alternancia estacional, la topografía y la altitud, que se encuentran divididos en dos periodos:

- Periodo de estación seca (Mayo – Noviembre).
- Periodo de precipitaciones continuas (Diciembre – Marzo).

Para determinar el tipo de clima en componente del distrito se ha considerado la clasificación climática de W. Koppen, obteniendo la siguiente clasificación:

Clima Frío. - Este clima se distingue tener un invierno seco, con una temperatura media superior a 10° C aproximadamente durante cuatro meses, dependiendo exclusivamente de la altura, este tipo de clima a la mayor parte de la superficie de la provincia. (Gobierno Regional de Huancavelica, 2016)

Geomorfología

La Provincia de Acobamba debido a su estructura fisiográfica, su diverso rango de altitud, presenta formación de diferentes unidades geomorfológicas. Las cuáles serán mencionadas a continuación.

- a) Valle Intermedio (V-Int) Esta unidad se presenta bordeando los principales ríos, en terrenos cercanos a los cauces de agua de la parte media baja de la cuencas y micro-cuencas hidrográficas, mostrándose como valles aluviales inter-montañas, que son paisajes originados por sedimentos aluviales relativamente recientes que son parte de suelos que han sido depositados y modelados por acción combinada de la gravedad y la escorrentía superficial, de topografía plana y a veces algo inclinada (pendiente de 0 a 5%).
- b) Altiplanicie (Alt) Esta unidad fisiográfica destaca por presentar áreas llanas, y relativamente onduladas, las pendientes no tienen valores mayores al 8%, se encuentran dispersas en la región alto-andina a más de 3800 m.s.n.m.
- c) Colinas Andinas (Cln-An) Esta Unidad fisiográfica presenta un reducido porcentaje de la superficie provincial, caracterizados por ondulaciones pronunciadas con pendientes de suaves a inclinadas, su origen obedece a la actividad tectónica del pasado. Dentro de esta unidad ocurren fenómenos geodinámicos externos como pueden ser huaycos, derrumbes y desprendimiento de rocas.
- d) Cadena Montañosa (C-Mnt) Esta unidad fisiográfica se caracteriza por presentar áreas fuertemente accidentadas con relieves empinados y laderas que sobrepasan el 50% de pendiente, con presencia de áreas llanas pequeñas de origen aluvial en los valles estrechos de los ríos que recorren el territorio provincial. (Gobierno Regional de Huancavelica, 2016)

Sismicidad

La ciudad de Acobamba se encuentra en una zona de sismicidad media con probabilidad de ocurrencia de sismos de leves a moderados (VI a VII en la Escala de Mercalli Modificada o MSK) y aceleraciones máximas hasta de 0.35 m/s².

Los peligros de origen geológico y geológico-climáticos de mayor incidencia en la ciudad de Acobamba, son por amplificación local de ondas sísmicas, deslizamientos, socavamiento y cárcavas, desprendimiento de rocas y derrumbe de suelos, procesos que se ven favorecidos por un alta pendiente del terreno, baja o pobre consistencia de los materiales y el agua de lluvia en su acción de erosión, transporte y deposición. En la Figura 22. Se puede apreciar la distribución de las zonas sísmicas del Perú. (Instituto Nacional de Defensa Civil-INDECI, 2015)

Figura 22 Distribución zonas sísmicas en el Perú

Fuente: Centro Regional de Intensidades Sísmicas para América Latina-CERESIS (2007)

2. MARCO TEORICO.

El marco teórico descrito a continuación en la presente tesis, permite conocer de manera clara y concisa los conceptos necesarios para el entendimiento del desarrollo de este proyecto de investigación.

En primer lugar, se iniciará con la definición de pavimentos asfálticos con el fin de brindar un concepto global de los temas a tratar en este capítulo. Posteriormente, se describirá los Micropavimentos. Se mostrará una breve historia y definición del término y se conocerán sus usos, fases e insumos que los componen. Finalmente, se analizará la tecnología de Micropavimentos, el cual contiene definición, insumos y caracterización del agregado con el fin de entender la forma bajo la cual este proyecto podría ser llevado a cabo.

Con este marco teórico, se podrá comprender el desarrollo del proyecto que se detalla más a continuación.

2.1.Pavimento Asfáltico

Se le conoce como pavimento asfáltico al conjunto de capas de distintos materiales que soportan las cargas del tránsito de vehículos y las transmiten a los estratos inferiores en forma aminorada, otorgando una capa de rodadura, la cual debe funcionar adecuadamente. Las condiciones requeridas para su funcionamiento son: ancho, trazo horizontal y vertical, resistencia a la tracción y compresión para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. (Cámara Chilena de Construcción-CCHC, 2014)

2.1.1. Pavimentos Flexibles

Son aquellos que poseen una cobertura asfáltica sobre una capa de base granular. La distribución de tensiones y deformaciones ocasionadas a la estructura por los vehículos, se asigna a las capas de revestimiento y base, las cuales soportan las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación captando las tensiones cizallantes. (Universidad Mayor de San Simón UMSS, 2014, p. 344).

Capa de Rodadura Asfáltica no Estructural

Llamadas también capas asfálticas, son métodos de protección que se le adhiere a los pavimentos, se requiere de una superficie con una apta textura para el flujo de vehículos e

impermeabilizar la superficie de la carretera o sector donde se trabaje con el pavimento asfáltico. Tener en cuenta también la pendiente requerida para dirigir el agua hacia las cunetas y así drenarla. Las capas asfálticas se encuentran disgregadas en dos grupos: los tratamientos asfálticos en caliente y los tratamientos asfálticos en frío. Los tratamientos asfálticos en caliente también llevan el nombre de carpetas asfálticas y, constan de la particularidad de aportar resistencia estructural a las capas del pavimento. Para lograr la instauración en la obra, los cementos asfálticos deben de obtener temperaturas mayores a las del ambiente, lo cual genera un costo elevado y, daña el ambiente. (Comisión Permanente Del Asfalto De La República De Argentina-CPA, 1983)

En esta tesis de investigación, se llevará a cabo el análisis de una de las mezclas asfálticas en frío. Vale resaltar que las mezclas en frío reducen los costos de construcción, ya que no se necesita ser llevado a grandes temperaturas como las mezclas en caliente.

2.2.Micropavimentos

2.2.1. Historia de Micropavimentos

El Micropavimento fue desarrollado inicialmente en Europa, donde es conocido como micro concreto asfáltico. A mediados de los años setenta, la compañía francesa Screg Route llegó a diseñar un Seal Gum (micro concreto asfáltico), en los años posteriores este fue mejorado por la firma de Raschig de Alemania. Así para los inicios de los años ochenta, Raschig comercializó su producto en Estados Unidos con el nombre de RALUMAC. A finales de la década de los ochenta, la firma española Elsamex desarrolló y comercializó su Micropavimento en Estados Unidos con el nombre de MACROSEAL. Hoy muchos otros sistemas genéricos están disponibles en Estados Unidos y en los últimos años se fueron ampliando por Latinoamérica. (Federal Highway Administration, 1994)

2.2.2. Definición de Micropavimentos.

Un Micropavimento se clasifica como uno de los tratamientos superficiales asfálticos, conformada por una capa delgada que no aporta estructuralmente, además siendo ésta de alta calidad, conformada por arena totalmente triturada (100% triturada), emulsión asfáltica de rotura controlada y modificada con polímeros, fillers, agua y mejorador de adherencia Aditivos. (ISSA, 2005). El Micropavimento se usa generalmente para conservar los pavimentos desgastados o fisurados pero que no lleguen a presentar daños estructurales. En general, van en capas finas, entre los 10mm hasta 25mm de espesor, siendo usada también

como capas para nivelar la superficie del suelo. Se pueden también usar para sellar áreas de fisuras superficiales y corregir las irregularidades encontradas en los pavimentos. Comparado con una mezcla asfáltica en caliente (MAC), se trabaja mezclado y aplicado a bajas temperaturas del ligante, entre 30 a 40 grados, y a temperatura ambiente. La emulsión rompe y se endurece a través de un proceso electroquímico. (Méndez L. y Escobar R, 2013)

2.2.3. Usos de los Micropavimentos

Usos comunes del Micropavimento son como textura superficial/sellado y recuperación de ahuellamientos en pavimentos de concreto asfáltico. Algunos países utilizan el Micropavimento con otros propósitos como:

- Micro-capas de nivelación
- Capas intermedias
- Rellenar vacíos en las vías
- Reparar baches con pocos daños
- Corregir pérdidas de fricción superficial.
- Sellar grietas.

2.2.4. Fases y etapas para el correcto desempeño de un Micropavimento

Tiempo de rotura

En una emulsión asfáltica temporalmente el residuo asfáltico se logra dispersar en agua por medio de un agente emulsificante. Terminada esta etapa, se produce nuevamente la separación de ambos, el residuo y el agua, a lo que se denomina “rotura”. El tiempo que tarda la separación de las gotas de asfalto con el agua es llamado “tiempo de rotura”. Las emulsiones modificadas para Micropavimentos son diseñadas para romper entre 2 a 4 minutos. El propósito de la rotura es poder cubrir las partículas de agregado en la mezcla. Cabe indicar que los minerales finos y el agente emulsificante son usados para controlar la rotura de las emulsiones. El proceso se llega a reconocer cuando se observa el cambio de color de café a negro. (ISSA, 2005)

Tiempo de deposición

El término de deposición para este proyecto indica el tiempo que tarda el agua clara al ser expulsada de la mezcla cuando se le aplica presión. El tiempo aproximado de deposición del Micropavimento dura aproximadamente 20 minutos. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales-Lanamme UCR, 2012)

Proceso de Curado

En este proceso se realiza la expulsión total del agua de la mezcla emulsificada ya sea por evaporación, expulsión química presión o absorción de los agregados. Pese a que el Micropavimento puede tomar de 7 a 14 días para su proceso de curado, la mayoría del agua en la mezcla (90 - 97%) se desplaza en las primeras 24 horas (Lanamme UCR, 2012)

Cubrimiento al agregado

Para cubrir el agregado es un proceso que se inicia y debe continuar progresivamente a medida que la mezcla se rompa, llegue a la deposición y termine de curar. Al terminar el proceso de curado, el cubrimiento del agregado con cemento asfáltico será completada.

Tiempo de apertura al tráfico

La aplicación del Micropavimento hasta el espesor de 13mm está diseñada para aceptar tráfico alrededor de una hora después de ser aplicadas.

Ventajas

- Aumenta la durabilidad del pavimento en zonas altas, reduciendo el envejecimiento por fatiga térmica, oxidación y los efectos de rayos ultravioletas.
- Rápida apertura al tráfico (los vehículos pueden transitar después de una hora de ser aplicada la mezcla).
- Permite rellenar ahuellamientos en vías tanto bajo como alto volumen de tráfico.
- Se utilizan para corregir irregularidades, mejorando las propiedades antiderrapantes, oxidación y desprendimientos en los pavimentos.
- Utilizado para conservar los pavimentos desgastados o agrietados sin llegar a presentar daños estructurales.
- Mejora la adherencia de la capa asfáltica

2.2.5. Tipos de huso de los Micropavimentos

Según la norma ISSA (International Slurry Surfacing Association), existen dos tipos de mortero de acuerdo al tamaño de los agregados, sabiendo que el Micropavimento se considera como un mortero asfáltico con alto rendimiento.

Tipo II

Este tipo protege la superficie que está dañado por agua lo cual ayuda a mejorar la fricción superficial.

Este tipo es el más usado además su uso principal es en pavimentos que soportan tráfico moderado.

Tipo III

Este tipo de Micropavimento se aplica para vías con alto nivel de tráfico y se usa también para obtener altas tasa de aplicaciones de valores de fricción superficial.

En la Tabla 14. Se puede apreciar los tipos de huso del Micropavimento.

Tabla 14 Tipos de huso y Capacidad de carga

Tipo	Ubicación	Rango de Aplicación
II	Calles Urbanas y residenciales Pistas de Aeropuertos	(5.4-10.8kg/m ²)
III	Vías Primarias e interprovinciales Ahuellamientos	(8.1-16.3 kg/m ²) Según sea requerido

Fuente: Norma ISSA A-143 (2005)

2.2.6. Componentes e insumos

Emulsión.

Se define una emulsión como una dispersión fina más o menos estable de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas compuestos por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). Esto puede apreciarse en la Figura 23, donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión. (Rodríguez T. Rogelio et al., 2001).

Figura 23 Diagrama esquemático de una emulsión

Fuente: Norma ISSA A-143

Generalmente la dimensión de la fase discreta tiene alguna dimensión lineal entre 1 nanómetro y 1 micra. Son estas dimensiones tan pequeñas las que le dan a las emulsiones sus notables e interesantes atributos. (Rodríguez T. Rogelio et al., 2001)

- Los Emulsificantes.

Los emulsificantes son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente alto (entre 100 y 300); tienen una parte hidrofóbica (generalmente es una cadena hidrocarbonada ya sea lineal o cíclica) que es soluble en el medio orgánico (en nuestro caso en el asfalto) y una parte hidrofílica (generalmente es un grupo polar de tipo orgánico o inorgánico), soluble en el medio acuoso. (Rodríguez T. Rogelio et al., 2001)

Son los que, producida la emulsión, se sitúan en su mayor parte en la “interfase”. Su parte hidrofóbica se dirige hacia el asfalto y su parte polar hacia el agua. Con estos emulsificantes iónicos las partículas adquieren cargas eléctricas del mismo signo, repeliéndose entre ellos y estabilizando al sistema.

- Emulsión Asfáltica

En el caso de emulsiones asfálticas, los líquidos no miscibles son el agua y el asfalto. Adicionalmente se tiene el emulgente el cual se deposita en la interface entre el agua y el asfalto y estabiliza la emulsión; éste depende del tipo de emulsión que se requiera. (Rodríguez T. Rogelio et al., 2001).

Toda emulsión asfáltica tiene que cumplir con los requerimientos de la Tabla 15.

Tabla 15 Requerimientos de Emulsión Asfáltica

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	MTE C 407	Positiva/Negativa
Determinación del residuo asfáltico	MTC E 411	62% mín.
Prueba sobre el Residuo de Evaporación		
Penetración, 25°C. 100 g. 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	50*-90* 100-150
Ductilidad 5°C	MTC E 306	≥ 10 cm
Índice de Fraass	MTC E 311	-17°C máx.
Recuperación elástica, 25°C, 20 cm, 1h	ASTM D6084	30% mín.

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013)

Tipos de Emulsiones Asfálticas.

Éstas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- De Rotura Rápida: Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (con excepción de la emulsión conocida como ECR-60), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.
- De Rotura Media: Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.
- De Rotura Lenta: Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- Para Impregnación: Estas se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas.
- Super Estables: Estas se emplean en la estabilización de materiales y en la recuperación de pavimentos.
- De Rotura Controlada: Se diseña necesariamente para aplicaciones en las que se necesita un rápido tiempo de curado, para permitir una pronta apertura al tránsito. Esta emulsión confiere mayor durabilidad y un mejor comportamiento frente a las altas y bajas temperaturas, adquiriendo características únicas como alta rigidez y elasticidad, aparte de un aporte para mejorar sus características adhesivas.
- Agua.

Es el puente para permitir la mezcla de los insumos del micropavimento y es el agente principal que determina la consistencia del elemento no estructural.

Dependiendo de la condición del agua y de la capacidad de absorción de los agregados, la mezcla del micropavimento normalmente está delimitado en un rango del 4 - 12 % con respecto al peso seco del agregado; en climas fríos el volumen de agua empleado es menor y en los lugares de climas cálidos el contenido de agua en la mezcla es mayor. (Palomino, M. y Rodríguez, E. 2018).

- Polímeros.

Los polímeros que se emplean en los micropavimentos son del tipo I, los cuales están compuestos por bloques de estireno (SBS, SBR), estos ayudan al mejoramiento del comportamiento típico de la mezcla. La contribución del polímero será resaltante en las

pruebas de mezcla y residuo asfáltico; el porcentaje de polímeros sólidos está en un rango del 3 al 4% del contenido del residuo asfáltico en peso. (Palomino, M. y Rodríguez, E. 2018).

- Minerales Finos

Todo mineral fino, tal como cemento hidráulico, cal u otro material inerte de origen calizo, libre de materia orgánica y partículas de arcilla, que tienen como finalidad reducir la segregación de los agregados y la adición o disminución del sistema con el cual la mezcla alcanza su rompimiento y su separación. Los minerales finos o también llamados Fillers se podrán emplear siempre y cuando se cumpla con la banda granulométrica establecida en la Tabla 16. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones-MTC, 2013)

Tabla 16 Granulometría de Material Fino

Tamices		% Que pasa en peso
(mm)	(ASTM)	
0,630	(N.º 30)	100
0,315	(N.º 50)	95-100
0,080	(N.º 200)	70-100

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013)

- Aditivo de control de campo

Es un producto que realiza la función de retardar o acelerar el periodo de rompimiento de una mezcla de micropavimento, su uso es frecuentemente para retardarlo. El emulsificante también es conocido como un aditivo, y cumple con mejorar la adherencia de la emulsión con el agregado y con la zona donde se aplica la mezcla; el volumen de aditivo adecuado varía entre 0 a 2 % del volumen de la emulsión. (Palomino, M. y Rodríguez, E. 2018)

- Agregados.

Los agregados Deberán ser limpios, angulares, durables y bien gradados. Deberán gradarse en zonas preparadas especialmente para esta finalidad, de manera que no genere contaminación ni segregación de los agregados. Los acopios se ubicarán en superficies limpias, planas y niveladas. Es necesario aislar cualquier fuente de materia extraña que pueda contaminar los agregados como vegetación, rocas, etc. Se debe tener en consideración un drenaje adecuado para evitar acumulación de agua en el acopio. (MTC, 2013).

Los agregados para los micropavimentos en frío, deberán provenir de la trituración de roca y deberán cumplir con los requisitos de la Tabla 17. El tipo de granulometría y número de capas a utilizar será el establecido en el Proyecto. (MTC, 2013)

Tabla 17 Granulometría de los Agregados

Tamices		Bandas granulométricas			
		Porcentaje en peso que pasa, %			
(mm)	(ASTM)	Tipo M-I	Tipo M-II	Tipo M-III	Tipo M-IV
12,5	(1/2")				100
10,0	(3/8")		100	100	85-98
5,0	(N.º 4)	100	85-95	70-90	62-80
2,5	(N.º 8)	85-95	62-80	45-70	41-61
1,25	(N.º 16)	60-80	45-65	28-50	28-46
0,63	(N.º 30)	40-60	30-50	18-34	18-34
0,315	(N.º 50)	25-42	18-35	12-25	11-23
0,16	(N.º 100)	15-30	10-24	7-17	6-15
0,08	(N.º 200)	10-20	5-15	5-11	4-9

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013)

Se entenderá por agregados pétreos limpios, aquellos agregados pétreos libres de materia orgánica, arcilla o materias extrañas. En caso necesario el Supervisor podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otro método aprobado por éste. Los agregados pétreos y el polvo mineral para la construcción de micropavimentos en frío deberán cumplir los requisitos de calidad exigidos en la Tabla 18. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones-MTC, 2013).

Tabla 18 Granulometría de los agregados

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

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013)

Las tolerancias para conformar la banda de trabajo se indican en Tabla 19.

Tabla 19 Tolerancias para banda de trabajo

Tamices		Tolerancia (%)
(mm)	(ASTM)	
5,0	(N.º 4)	± 5
2,5	(N.º 8)	± 5
1,25	(N.º 16)	± 5
0,63	(N.º 30)	± 5
0,315	(N.º 50)	± 4
0,16	(N.º 100)	± 3
0,08	(N.º 200)	± 2

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013)

- Caracterización del Agregado.

a. Partículas fracturadas.

Describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una, dos o más caras fracturas de las muestras de agregados pétreos.

Algunas especificaciones contienen requisitos relacionados al porcentaje de partículas fracturadas en agregado grueso. Un propósito de tales requerimientos es maximizar la resistencia al corte incrementando la fricción entre partículas en mezclas de agregado con ligante o sin ligante. Otro propósito es proporcionar estabilidad en agregados usados en tratamientos superficiales y proporcionar un incremento de fricción y textura para agregados usados en capas de rodadura. Este

método proporciona un procedimiento normalizado para determinar la aceptación de agregado grueso con respecto a dichos requisitos. (Gonzales y Ordoñez, 2001)

b. Durabilidad al Sulfato de Sodio.

Describe el procedimiento que debe seguirse, para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio.

Este método brinda una información relevante para discernir de la calidad de los agregados que van a estar sometidos por la acción de agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a utilizar, en las condiciones climáticas de la obra.

Los resultados obtenidos varían de acuerdo a la sal empleada, y que se debe tener cuidado al establecer los límites en las especificaciones en que se incluya este ensayo. A causa que su precisión es limitada, no se puede rechazar los agregados si solo no cumple este ensayo, sino debe de existir un complemento de otros para poder tomar dicha decisión. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones-MTC, 2000)

c. Desgaste de los Ángeles

Su función es determinar la resistencia a la trituración de los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas, el método implica analizar granulométricamente un árido grueso, preparar una muestra de ensayo que se somete a abrasión en la máquina de Los Ángeles y expresar la pérdida de material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial. Empleando la máquina de los Ángeles se halla la resistencia al desgaste que poseen los agregados naturales y reciclados con este ensayo obtenemos un indicador de calidad y competencia de diferentes fuentes de agregados. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones-MTC, 2000).

d. Equivalente de Arena

El ensayo de equivalente de arena señala la proporción entre los elementos granulares y arcillosos de un árido. Es de una necesidad alta, ya que permite analizar áridos que contienen alto contenido de tamaños inferior a 0,080 mm. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones-MTC, 2000)

e. Azul de metileno

El ensayo de Azul de Metileno permite medir la propiedad de absorción iónica de los suelos ante la presencia de una solución de Azul de Metileno; la cual busca caracterizar la fracción arcillosa del suelo globalmente. La cantidad, así como la naturaleza mineralógica de dicha fracción, determinan el resultado del ensayo. De igual manera y dado simple procedimiento mecánico del ensayo, es posible obtener un valor más preciso del Índice de Plasticidad (IP) por medio de la utilización de una correlación entre el Valor de Azul (P) y el Índice de Plasticidad (IP) obtenido a partir de ensayos típicos con la Taza de Casagrande (LL) y con el secado de Rollos (LP). Recuérdese las imprecisiones que causa la naturaleza del procedimiento ultimo; en este ensayo (LP) el valor depende de la experiencia del Laboratorista. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones-MTC, 2000)

f. Adherencia Riedel-Weber

Este método operativo explica el procedimiento que debe seguirse para determinar la adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos, arenas naturales o machaqueo, de empleo en construcción de carreteras.

El ensayo tiene por finalidad someter a diferentes porciones de la muestra del árido envuelto con el ligante a la acción de soluciones de carbonato sódico de concentración molar creciente. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones-MTC, 2000)

g. Adherencia método estático

Este ensayo describe los procedimientos de revestimiento e inmersión estática para fijar la capacidad de retención de una película bituminosa sobre una superficie de agregado en presencia del agua. Esto es aplicable para ambos Bitúmenes: RC y Cemento Asfáltico. Si se desea evitar el desprendimiento, se puede agregar algún aditivo. (Gónzales y Ordoñez, 2001)

2.2.7. Mezcla Asfáltica.

- Control de Desempeño

Para obtener un adecuado rendimiento de la mezcla del Micropavimento también se debe considerar la calidad de los materiales, por lo cual, es importante realizar

pruebas en laboratorio para evaluar el estado del Micropavimento y la cantidad necesaria de asfalto.

A continuación se detallarán los principales ensayos de desempeño en laboratorio a los que serán sometidos los micropavimentos.

a. Prueba de Rueda Cargada

El presente ensayo de rueda cargada es una simulación a escala de laboratorio que fue desarrollada para reproducir los efectos que las cargas del tránsito y la temperatura producen sobre una mezcla asfáltica, es decir, generar de manera acelerada deformaciones permanentes en la mezcla. Asimismo, tiene como objetivo medir la deformación permanente y determinar el máximo contenido de asfalto que debe tener la mezcla para evitar la exudación o susceptibilidad a la humedad de una mezcla asfáltica.

La prueba consiste en medir la adhesión de la arena mediante el pase de 1000 cíclico en una pastilla de mezcla, estos 1000 ciclos hace que el asfalto exude y por ende se encuentre facultado para que la arena se adhiera. El espécimen de muestra debe ser colocado a una temperatura de 60 °C por un mínimo de 12 horas hasta alcanzar el peso constante; al igual que en el ensayo de abrasión en húmedo. Luego, se realizan los 1000 ciclos y se pesa la muestra para continuar con la incorporación de la arena reglamentada a una temperatura de 82.2 °C y efectuar 100 ciclos más. Finalmente, se limpia la muestra y se pesa, hallando por diferencia de pesos la adherencia. La carga de la rueda debe ser de 125 lb. (International Slurry Surfacing Association-ISSA TB 109, 2005)

Figura 24 Equipo utilizado para Prueba de Rueda Cargada

Fuente: Propia (2018)

En la Figura 24, se muestra el equipo utilizado para este ensayo. Las dimensiones del espécimen utilizado para este ensayo tienen un espesor de 1.25 veces el tamaño de la partícula más grande, 5 cm de ancho y 27.5 cm de largo. Para las vías de tráfico pesado es necesario un valor máximo de adhesión de arena de $0,540 \text{ kg/m}^2$, por lo que se contempla como aceptables valores inferiores pues no ocurrirá exudación.

b. Prueba de Abrasión en Húmedo.

El presente ensayo de Abrasión en Húmedo simula condiciones de abrasión en pavimentos mojados, tales como un vehículo circulando en una curva y frenando. Mediante esta prueba se definen los valores mínimos de emulsión asfáltica necesarios para obtener una mezcla con suficiente cohesión como para resistir la acción abrasiva del tráfico.

La prueba consiste en someter un espécimen de micropavimento previamente curado en estufa a una temperatura determinada y sumergida en agua a la acción abrasiva de un cilindro de goma duro con 2.3 kg de peso, que gira con un movimiento planetario sobre su superficie durante 5 minutos. Se define como abrasión a la pérdida de material por unidad de superficie que presenta el espécimen ensayado en las condiciones señaladas. (International Slurry Surfacing Association- ISSA TB 100, 2005)

Figura 25 Equipo utilizado para Prueba Abrasión en Húmedo

Fuente: Propia (2018)

En la Figura 25, se muestra el equipo utilizado para este ensayo. Se utiliza un espécimen de muestra de 6 mm de espesor por 280 mm de diámetro; luego de terminar el ensayo, se realiza el secado al horno de la muestra a 60 °C y se pesa nuevamente. La pérdida de peso normada aceptable es de 0.540 kg/m² y así se obtiene la cantidad de mínima de asfalto necesaria.

c. Prueba de Cohesión

El presente ensayo de Cohesión determina el tiempo requerido para alcanzar un torque máximo constante o hasta que el pie de goma se mueve libremente sobre el disco de muestra sin desplazar las partículas de agregado. Asimismo, la presente prueba mide el torque durante el desarrollo del fraguado y esfuerzos de cohesión, y define el tiempo de fraguado y el tiempo temprano de apertura al tráfico.

La prueba consiste en la simulación del giro torsional que produce el neumático de un vehículo, por lo cual nos da el valor del torque necesario para desintegrar la 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 30, 60, 90, 120 minutos después del desmoldado. (International Slurry Surfacing Association-ISSA TB 139, 2005)

Figura 26 Equipo utilizado para Prueba de Cohesión

Fuente: Propia (2018)

En la Figura 26, se muestra el equipo utilizado para este ensayo. Para intervalos de 20 a 30 minutos es requerido un torque mínimo de 12 kg-cm, conocido como rompimiento rápido. Mientras que para los primeros 60 minutos se obtiene un torque de 20 kg-cm, conocido como apertura rápida al tráfico. Todos los micropavimentos son diseñados como sistemas de apertura rápida al tráfico.

d. Prueba de Verificación

Prueba de Schlze Breuer y Ruck.

Este método de prueba cubre la determinación de la compatibilidad relativa entre el agregado de graduación específica y la emulsión asfáltica, asfalto residual o bitumen. Se prepara la mezcla y se moldea un espécimen que luego se somete a un acondicionamiento a 25 °C en agua por 6 días, luego se introduce en el tubo cilíndrico del equipo que se llena con agua y la mezcla se somete a abrasión con ayuda del equipo Schulze-Breuer y Ruck por un periodo de tiempo de 3 horas y a una temperatura de 25 °C .Una vez hecho la anterior, la muestra se somete a ebullición y luego se seca. Se reporta la absorción, la pérdida por abrasión, la adhesión (porcentaje de recubrimiento) y la integridad.

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.

Figura 27 Equipo utilizado para Prueba de Schzle Breuer and Ruck

Fuente: Propia (2018)

En la Figura 27, se muestra el equipo utilizado, donde se encuentran 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.

2.3. Deformación permanente definición.

Cuando a un material granular se inducen ciclos de carga y descarga, una componente de la deformación total (ϵ_T) que se produce es recuperada (deformación resiliente, ϵ_r). Aquella deformación que no es permitida su recuperación, se acumula con cada repetición del ciclo y se le conoce con el nombre de deformación permanente (ϵ_p) como se puede apreciar en la Figura 28. En un pavimento estas deformaciones generan hundimientos o desplazamientos que, en demasía, pueden generar fallas funcionales y/o estructurales. (Rondón y Reyes, 2007)

Figura 28 Curva típica esfuerzo – deformación en un ciclo de carga y descarga

Fuente: Rondón y Reyes (2007)

La variabilidad de la distribución granulométrica cuando se encuentran dentro del rango aceptado en la curva del Micropavimento huso tipo III.

2.3.1. Deformaciones permanentes en materiales granulares.

Uno de los factores más resaltantes en la caracterización de los materiales de pavimentación es la deformación permanente que experimentan por consecuencia de la repetición de cargas, este factor es quizá el más importante a tener en cuenta, ya que en la mayoría de los casos, los pavimentos llegan a la falla a causa del grado de deformación que han sufrido, disminuyendo su calidad de servicio a niveles de rechazo.

Una de las formas de desgaste principales asociada a los mecanismos de falla de los pavimentos flexibles es la formación de roderas, las cuales se originan por la acumulación de deformación permanente en el pavimento, que puede, en principio, aportar de todas las capas de éste.

La figura 29, ilustra la formación de roderas en un pavimento asfáltico, haciendo énfasis en las deformaciones de las diferentes capas, que aportan a la deformación permanente total en la superficie del pavimento, indicada como profundidad de rodera. (Garnica y Gómez, 2001)

Figura 29 Mecanismo de formación de roderas en un pavimento asfáltico

Fuente: Garnica y Gómez (2001)

En pavimentos con capas asfálticas gruesas, normalmente las roderas se generan por las deformaciones permanentes en estas capas; pero en pavimentos con carpetas delgadas, las capas granulares y la subrasante son las que generan la mayor parte de la deformación, en gran medida si las condiciones de drenaje son inadecuadas. (Brown, 1996).

2.3.2. Factores que influyen en la deformación permanente

Varios son los factores partícipes en la deformación permanente que experimentan los materiales granulares cuando se encuentran formando parte de alguna de las capas de pavimento.

Número de repeticiones de carga aplicado.

La figura 30 expone la evolución de la deformación permanente de una muestra de material, con granulometría aceptada por los criterios granulométricos tomados, (G1) a 20,000 ciclos con un esfuerzo vertical de 1074 kPa. En la gráfica se puede apreciar que la deformación total se desarrolla en 3 fases: la primera de éstas, ocurre rápidamente, es producto de las primeras decenas de ciclos de carga y representa cerca del 70% de la deformación total; la segunda fase corresponde a los siguientes 10,000 o 15,000 ciclos de carga y en ella se completa casi la totalidad de la deformación; finalmente se desarrolla una fase relativamente estable en la que la velocidad de acumulación de la deformación es mínima y la deformación alcanza prácticamente su valor máximo, lo que ocasiona que la aplicación de un número mayor de repeticiones de la carga ya no tenga ningún efecto complementario.

Desde un punto de vista práctico, lo anterior compromete a que en una capa de material granular el período crítico de acumulación de deformaciones permanentes es de corto tiempo y que para un nivel de esfuerzo dado, la magnitud de la deformación permanente que se genera es finita.

Figura 30 Evolución de la deformación permanente de un material granular contra el número de ciclos

Fuente: Garnica y Gómez (2001)

La influencia de la procedencia de la granulometría.

La figura 31 demuestra la evolución de la deformación permanente en 3 muestras con distintas granulometrías, identificadas como G1, G2 y G3, las cuales fueron sometidas a cargas cíclicas de magnitud parecida. Las curvas granulométricas correspondientes se muestran en la referida ilustración. Es importante notar que las curvas identificadas como G2 y G3 forman parte de materiales mal graduados, mientras que la G1 pertenece a un material con buena graduación.

En la figura 32, se indica la mayor deformación permanente total para el material G1, menor en el G2 y la más baja para el G3, esto a pesar de las características de graduación antes comentadas y a que los pesos volumétricos iniciales de las muestras G2 y G3 son menores que el de la G1, lo que parece señalar que el tener un peso volumétrico alto no garantiza una reducción en la magnitud de las deformaciones permanentes del material encadenas a cargas repetidas.

Una posible causa de la mayor deformabilidad de las muestras con granulometría G1 se atribuiría a sus características de estabilidad interna ya que en el análisis efectuado se contempló inestabilidad entre los tamaños de 2.36 mm y 0.215 mm, mientras que los materiales con G2 y G3 (uniformes) son estables en toda su masa. (Garnica y Gómez, 2001)

Figura 31 Curvas granulométricas de los materiales estudiados

Fuente: Garnica y Gómez (2001)

Figura 32 Evolución de la deformación permanente en muestras con diferente granulometría

Fuente: Garnica y Gómez (2001)

3. METODOLOGÍA.

El presente capítulo de la tesis, permite reconocer de manera clara y concisa la metodología, variables y diseño de la muestra utilizados para el análisis en base a la aplicación de los conceptos estudiados en el marco teórico.

En primer lugar, se iniciará con la identificación de población y muestra con el fin de ubicar al lector en el espacio de estudio. Posteriormente, se describirá la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación, ésta en función a las variables señaladas. Además, se identificará las técnicas de recolección y procesamiento de datos utilizados para el análisis. Finalmente, se analizará el diseño de los Micropavimentos desde la toma de muestras, canteras y fuentes de agua a usar, hasta la caracterización del agregado y las pruebas en laboratorio de desempeño de éste y de la muestra de mezcla de Micropavimento.

Con este capítulo, se podrá comprender las etapas de desarrollo para el diseño de Micropavimentos en condición de laboratorio y predecesora del capítulo de Resultados como se detalla a continuación.

3.1. Material

3.1.1. Población

Proyecto de Conservación Vial Complementaria Tramo V Salida Acobamba– Pte. Alcomachay en Acobamba, Huancavelica. Aproximadamente 65 km.

3.1.2. Muestra

Arena de cantera Río Mantaro para diseño de Micropavimento.

3.2.Método

Hipotético deductivo de enfoque cuantitativo.

3.2.1. Nivel de Investigación.

La presente investigación es de nivel explicativo que es el más idóneo para este tipo de investigaciones ya que se trabajó con un diseño de investigación orientado al enfoque cuantitativo con un método correlacional; a continuación, se define brevemente ambos conceptos y la relación con el tema de investigación.

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio, cada etapa precede a la siguiente por lo que no se puede eludir pasos, sin embargo, se puede redefinir alguna fase. Inicia con una idea delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se

examina y verifica la literatura y luego se construye un marco teórico. De las preguntas se establecen las hipótesis y se determinan las variables, se diseña un plan para probarlas, se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y finalmente se extrae una serie de conclusiones respecto a las hipótesis como se muestra en la Figura 33. (Hernández R., 2014)

Figura 33 Proceso Cuantitativo

Fuente: Metodología de la Investigación (2018)

Por su parte, el alcance correlacional tiene como finalidad conocer la relación existente entre dos o más variables en una muestra o contexto específico. Para evaluar la relación entre ambas variables, en este tipo de método, primero se mide cada una de éstas variables, y luego se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones; a su vez, éstas se sustentan en hipótesis sometidas a prueba. (Hernández R., 2014).

Debido a esto, se concluye que el método y diseño de investigación usado en la presente tesis es de tipo correlacional cuantitativa pues analizó, describió y discriminó en base al contexto del marco teórico la relación de las variables.

3.2.2. Diseño de Investigación.

La tesis tiene un diseño de investigación cuasi experimental el cual se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes, pretest), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes, postest), dentro de una situación de control para el

investigador con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. La manipulación y ensayos de variables independientes y dependientes mencionadas en el siguiente ítem se realizarán en laboratorio. (Hernández R., 2014).

Figura 34 Esquema del Diseño

Fuente: Estadística aplicada. España: Narcea ediciones (2019)

3.2.3. Variables de Estudio y Operacionalización.

La investigación comprende la influencia de la variable independiente en la dependiente, los cuales permiten realizar predicciones en función a una muestra en un contexto específico.

A continuación, se nombrarán las variables para la prueba de la hipótesis general y específica y se precisan las dimensiones e indicadores, la unidad de medida e instrumento de investigación de cada una de éstas como se muestra en la Tabla 20.

Variable Independiente: Variabilidad de la distribución granulométrica en los tamaños de arenas medias a finas cuando se encuentran dentro del rango aceptado en la curva del Micropavimento huso tipo III.

Variable Dependiente: Deformación permanente en Micropavimentos.

Tabla 20 Matriz de Operacionalización

Variables	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Instrumento de Investigación
Variabilidad de la distribución granulométrica en los tamaños de arenas medias a finas.	desplazamiento lateral del espécimen ensayado en la rueda cargada	100 %	Porcentaje	Ensayo Especializado normado de laboratorio (MTC E 210)
	Diseño teórico por desempeño de los Micropavimentos	Máximo 12 %	Porcentaje	Ensayo Especializado normado de laboratorio (MTC E 209)
	mejora del huso granulométrico tipo III	Máximo 25 %	Porcentaje	Ensayo Especializado normado de laboratorio (MTC E 207)
		Mínimo 60 %	Porcentaje	Ensayo Especializado normado de laboratorio (MTC E 214)
Deformación permanente en Micropavimentos.	Rueda Cargada (LWT)	Máx. 538 g/m ²	g/m ²	Ensayo Especializado normado de laboratorio (ISSA TB 109)
	Tiempo de Mezclado	120"	segundos	Ensayo Especializado normado de laboratorio (ISSA TB 113)
	Tamaños entre las arenas medias y finas	Máx. 1.2%	Porcentaje	Medición Vernier

Fuente: Propia (2018)

3.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

Para el desarrollo de la tesis se utilizó la técnica de investigación de la observación en laboratorio en dicho experimento se manipulo la variable independiente para ver su influencia en la variable dependiente a través de pretest y postest.

Asimismo, respecto al instrumento de recolección se utilizará una hoja o ficha de registro de datos o guía de observación, las cuales están compuestas por preguntas e ítems relacionados a las variables sujetas a medición y los objetivos de la investigación.

3.2.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos.

Las técnicas de procesamiento son las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan, entre las principales técnicas se encuentran codificación, tabulación, registro de datos y presentación de datos, ésta última es la utilizada por nuestro tema de investigación pues constituye en sus diferentes modalidades uno de los aspectos de más uso en la estadística descriptiva, además de poder visualizar a través de los diferentes medios escritos y visuales la presentación de los datos estadísticos sobre el comportamiento de las variables. Dentro de la presentación y análisis de datos se encuentran la presentación escrita, tabular y gráfica, siendo ésta última la empleada en esta etapa de la investigación pues genera al lector mayor rapidez en la comprensión de los datos, ya que una gráfica es una expresión artística usada para representar un conjunto de datos. De acuerdo al tipo de variable que vamos a representar, las principales graficas son las siguientes: histograma, polígono de frecuencias, gráfica de barras, lineal o circular, entre otros.

3.3.Diseño de los Micropavimentos

3.3.1. Canteras y fuentes de agua

Cantera Rio Mantaro

La cantera a ser utilizada en la etapa de construcción se describe a continuación. La cantera está ubicada en el Km. 156+000 y por ser una extensión de una cantera de río de material aluvial, ya explotada y aún en explotación del saldo se le denomina. De las exploraciones e inspecciones a la cantera se determinó que presenta una capacidad razonable para ser explotada durante la fase operativa o fase de construcción. Se realizó el levantamiento topográfico correspondiente. En éste se demarcan los linderos de explotación previstos, en consecuencia el área proyectada, y se miden volúmenes de potencia. Se analizaron las distancias de recorrido para

acarreo, considerando tener el menor impacto desde el punto de vista socio-ambiental y económico.

Se pasa a describir la cantera programada para este tramo, cantera RIO MANTARO:

Se encuentra localizada en la progresiva del Km 156+000, en el lado izquierdo de la vía de Acobamba a Puente Alcomachay, siendo la distancia de acceso total hasta la cantera de 1.0 kms. Asimismo se presentan vistas de la cantera en las Figura 35 y la Figura 36. Finalmente se presenta la FICHA TÉCNICA (Anexo 1.) correspondiente, en la que se evalúan sus parámetros de viabilidad de la cantera.

Figura 35 Vista del material granular existente en la cantera Río Mantaro

Fuente: COSAPI (2018)

Figura 36 Vista de la Cantera Río Mantaro Km. 156+000

Fuente: COSAPI (2018)

Fuentes de Agua

Referente a fuentes de agua se procedió a su ubicación y a la toma de muestras representativas. Las mismas fueron remitidas a un laboratorio químico especializado de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (UNSCH) para los correspondientes ensayos de calidad.

En la Tabla 21 se presenta la relación de fuentes de agua permanente, las mismas que fueron sometidas a ensayos químicos con la finalidad de determinar si presentan cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, sales, como cloruro o sulfatos, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser nocivos para los materiales que componen el pavimento.

Tabla 21 Fuentes de Agua

N°	Muestra	Fuente De Agua	Ubicación	Observaciones
1	M-1	Laguna	99+200 Ld	Acceso 0.2 Km.
2	M-1	Quebrada	130+200 Li	Acceso 0.01 Km.
3	M-1	Rio	155+000 Li	Acceso 1.0 Km.

Fuente: COSAPI (2018)

3.3.2. Etapa 1: Validación de Insumos

Agua

Los ensayos químicos realizados en las muestras obtenidas se realizaron a fin de determinar los contenidos de:

- Ph
- Cloruros (Cl)
- Sulfatos (SO₄)
- Alcalinidad Total (NaHCO₃)
- Sales Disueltas Totales
- Materia Orgánica
- Sólidos en Suspensión

La Tabla 22 muestra las tolerancias permisibles de las fuentes de agua, en la que se concluye que las fuentes de agua seleccionadas aprueban para ser utilizadas en obras

de pavimentación. La norma considera que el agua adecuada es aquella que es apta para el consumo humano.

Tabla 22 Resultados De Ensayos Químicos

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	LAGUNA	QDA	RIO	TOLERANCIA
		Km.: 99+200 LD M-1	Km.: 130+200 LI M-1	Km.: 155+000 LI M-1	
pH	ppm	7.55	7.65	7.48	5.5 – 8.0
Cloruros (Cl)	ppm	72.1	18.8	54.7	1000 max.
Sulfatos (SO ₄)	ppm	12.2	4.6	116.9	600 máx.
Alcalinidad Total (NaHCO ₃)	ppm	485.5	479.6	273.0	1000 máx.
Sales Disueltas Totales	ppm	410.6	283.4	619.2	2000 máx.
Materia Orgánica	ppm	0.000	0.000	0.000	3 máx.
Sólidos en Suspensión	ppm	495.8	368.5	704.5	5000 máx.

Fuente: COSAPI (2018)

Para efectos de pruebas de control en laboratorio, se considera agua potable en la mezcla asfáltica. En la Tabla 23, 24 y 25 se muestran las especificaciones y resultados de los ensayos realizados a este insumo para las muestras A, B y C, respectivamente.

Tabla 23 Resumen de Ensayo para Agua-Muestra A

PROCEDENCIA	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	
	PH	DUREZA	PH	DUREZA
RIO CACHI KM 167+400	(5.5 - 8)	MAXIMO 380 ppm	7.4	90 ppm

Fuente: COSAPI (2019)

Tabla 24 Resumen de Ensayo para Agua-Muestra B

PROCEDENCIA	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	
	PH	DUREZA	PH	DUREZA
AGUA POTABLE	(6 - 8)	MAXIMO 380 ppm	7.56	240 ppm

Fuente: COSAPI (2019)

Tabla 25 Resumen de Ensayo para Agua-Muestra C

PROCEDENCIA	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	
	PH	DUREZA	PH	DUREZA
RIO CACHI KM 167+400	(5.5 - 8)	MAXIMO 380 ppm	7.4	90 ppm

Fuente: COSAPI (2019)

Agregados

Los agregados (excluyendo finos minerales) forman parte del 82 al 90 % del peso del Micropavimento, obedeciendo la granulometría de los agregados y su aplicación, éstos representan gran parte del rendimiento de los Micropavimentos. Para obtener un buen desempeño, los agregados deben ser 100 % triturados (que en nuestro caso se está cumpliendo), limpios, resistentes y libres de químicos, arcillas y otras materias que puedan afectar su adherencia, mezclado y colocación. Los agregados triturados de preferencia deben de ser angulares y no contener muchas partículas planas ni alargadas. (Federal Highway Administration, 1994).

Caracterización del agregado

Para el diseño de Micropavimento se eligió el Huso Tipo III obedeciendo la norma ASTM C 117 a causa del tráfico de vehículos y de las cargas que soportará y del tipo de vía. En la Tabla 26 se puede apreciar el rango de análisis granulométrico de agregados por tamizados según el huso tipo III y en la Figura 37 se muestra la curva granulométrica de éste y de las muestras A, B y C.

Las muestras A, B y C son muestras representativas halladas por medio de un promedio aritmético ya que brinda el valor característico de una serie de datos cuantitativos independiente de la amplitud de los intervalos. Cada curva representativa consta de 22 muestras recolectadas en campo, cumpliendo con los límites establecidos por el huso tipo III, cada uno evidenciando sus valores mínimos, máximos y su varianza, como se observan en los Anexos 7, 8 y 9 para las muestras A, B y C respectivamente, demostrando así la confiabilidad de los datos trabajados.

Tabla 26 Análisis Granulométrico

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)			
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PASA %	ESPECIFICACIÓN MICROPAVIMENTO TIPO III
3/8"	9.525	100	100
# 4	4.760	81	70 - 90
# 8	2.380	53	45 - 70
# 16	1.190	33	28 - 50
# 30	0.590	22	19 - 34
# 50	0.297	15	12 - 25
# 100	0.149	11	7 - 18
# 200	0.074	8	5 - 15
< # 200	(ASTM C-117)	0	

Fuente: COSAPI (2018)

Figura 37 Curva Granulométrica Huso tipo III y muestra A-B-C

Fuente: Propia (2019)

Muestra A.

En la Figura 38, se presentan los rangos limitantes establecidos por la norma y la Curva Granulométrica de la Muestra A, la cual se encuentra más próxima al rango superior e indica que tiene mayor porcentaje de agregado fino. Asimismo, es preciso resaltar que la muestra A es una granulometría representativa de un mismo grupo de

proceso de trituración al agregado de la cantera Río Mantaro como se aprecia en el Anexo 7.

Figura 38 Curva Granulométrica Micropavimento Tipo III-Muestra A

Adicional a esto, en la Tabla 27 se muestran las especificaciones y resultados de los ensayos de laboratorio de la Curva Granulométrica.

Tabla 27 Ensayos de laboratorio

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)	MÍN. 60%	62%
AZUL DE METILENO (AASHTO TP 57)	MÁX. 8.0 mg/g	8.0 mg/g
PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)	REPORTAR	1593 Kg/cm³
PARTÍCULAS FRACTURADAS (MTC E 210)	100%	100%
RIEDEL WEBER (MTC E 220)	MÍN. 4	7-10
ADHERENCIA MÉTODO ESTÁTICO (ASTM D 1664)	MÍN. 95%	+95

Fuente: COSAPI (2018)

Muestra B.

En la Figura 39, se presentan los rangos limitantes establecidos por la norma y la Curva Granulométrica de la Muestra B, la cual se encuentra más próxima al rango superior e indica que tiene mayor porcentaje de agregado fino. Asimismo, es preciso

resaltar que la muestra A es una granulometría representativa de un mismo grupo de proceso de trituración al agregado de la cantera Río Mantaro como se aprecia en el Anexo 8.

Figura 39 Curva Granulométrica Micropavimento Tipo III-Muestra B

Fuente: COSAPI (2018)

Con respecto a los ensayos de laboratorio realizados, en los cuales se encuentran el Equivalente de Arena (ASTM D 2419), Azul de Metileno (ISSA TB 145) y Peso Unitario Suelto (ASTM C 29), se muestra las especificaciones y resultados en la Tabla 28.

Tabla 28 Ensayos de laboratorio

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)	MÍNIMO 65%	69%
AZUL DE METILENO (ISSA TB 145)	-----	12 mg/gr
PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)	-----	1605 Kg/m ³

Fuente: COSAPI (2018)

Muestra C.

En la Figura 40, se presentan los rangos limitantes establecidos por la norma y la Curva Granulométrica de la Muestra C, la cual se encuentra más próxima al rango

superior e indica que tiene mayor porcentaje de agregado fino. Asimismo, es preciso resaltar que la muestra A es una granulometría representativa de un mismo grupo de proceso de trituración al agregado de la cantera Río Mantaro como se aprecia en el Anexo 9.

Figura 40 Curva Granulométrica Micropavimento Tipo III-Muestra C

Fuente: COSAPI (2019)

Finalmente, en la Tabla 29, se muestran las especificaciones y resultados de los ensayos de laboratorio realizados al agregado respecto a la MTC-EG 2013.

Tabla 29 Ensayos de laboratorio

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)	MÍNIMO 65%	69%
AZUL DE METILENO (ISSA TB 145)	-----	12 mg/gr
PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)	-----	1605 Kg/m ³

Fuente: COSAPI (2018)

Emulsión Asfáltica

La emulsión más adecuada para el Micropavimento en este proyecto fue la “Emulsión Catiónica de Rotura Controlada Emultec modificada con polímero-CQS-1hp”. Actualmente, en la industria peruana, solo se cuentan con tres proveedores para este rubro, los cuales son TDM-Asfaltos, BITUPER y PETROPERÚ.

Para este proyecto se trabajó con TDM-Asfaltos, quienes son los encargados de cumplir con tener todos los estándares de calidad pedidos en la EG-2013 para poder ser aplicado en la elaboración de los Micropavimentos.

En la Tabla 30, se aprecia las características de la emulsión asfáltica para la Muestra A. Además, en el ANEXO 4 podemos apreciar la ficha técnica con los resultados de los ensayos realizados a la emulsión y al residuo de emulsión, los cuales cumplen con las especificaciones de calidad MTC- EG 2013.

Tabla 30 Características de la Emulsión Asfáltica – Muestra A

ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Residuo Asfáltico	ASTM D 6934	%	62.5	Mínimo 62%
Penetración (25 °C, 100g, 5 seg)	ASTM D 5	dmm	55	50 - 90 dmm

Fuente: COSAPI (2019)

Asimismo, en la Tabla 31, se muestra las características de la emulsión asfáltica para la Muestra B la cual cumple con las especificaciones de calidad normadas, así como información complementaria de la ficha técnica en el ANEXO 5.

Tabla 31 Características de la Emulsión Asfáltica – Muestra B

ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Residuo Asfáltico	ASTM D 6997	%	62.7	Mínimo 62%
Penetración (25 °C, 100g, 5 seg)	ASTM D 5	dmm	71	40 - 90 dmm
Punto de ablandamiento	ASTM D 36	°C	58.2	Mínimo 57 °C

Fuente: COSAPI (2018)

Finalmente, en la Tabla 32, se puede observar el cumplimiento de las especificaciones por parte de la Muestra C en los ensayos realizados a la Emulsión asfáltica, así como la ficha técnica de ésta en el ANEXO 6.

Tabla 32 Características de la Emulsión Asfáltica – Muestra C

ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Residuo Asfáltico	ASTM D 6997	%	62.7	Mínimo 62%
Penetración (25 °C, 100g, 5 seg)	ASTM D 5	dmm	71	40 - 90 dmm
Punto de ablandamiento	ASTM D 36	°C	58.2	Mínimo 57 °C

Fuente: COSAPI (2019)

3.3.3. Etapa 2: Propuesta del Diseño Teórico

Procedimiento de Diseño

Para poder cumplir con un buen diseño de laboratorio del Micropavimento se debe de llevar a cabo una serie de procesos, los cuales cumpliéndolos técnicamente asegurarían que el Micropavimento es apto. Este proceso se realizó para cada tipo de muestra de igual forma.

El primer punto es realizar un buen estudio y una adecuada selección de canteras ya que, los agregados son parte fundamental para el buen comportamiento del Micropavimento, dichas canteras son rocas, las cuales son chancadas al cien por ciento.

Ya realizado el estudio de las canteras, se lleva a cabo la selección y descarte de éstas. Dichas canteras se usarán para el diseño y el desarrollo de la obra, por ello es necesario realizar la caracterización de los agregados. Dicha labor ya se llevó a cabo en unas páginas arriba, específicamente en “Ensayos de Granulometría”, las cuales muestran los resultados obtenidos del laboratorio, cumpliendo la EG 2013, en la cual se especifican, los ensayos de los agregados para el Micropavimento.

Por consiguiente se trata de encontrar la cantidad óptima del residuo asfáltico en la mezcla del Micropavimento, y dicha actividad se puede cumplir en base a dos criterios de diseño: Criterio de las áreas y Criterio de la intersección. En relación con lo mencionado anteriormente, se busca demostrar que estos dos criterios son fundamentales para la optimización del cemento asfáltico y conseguir un adecuado desempeño en la mezcla de Micropavimento.

Por último, es necesario llevar a cabo 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 decisiva del diseño, puesto que si esta prueba no cumple los requisitos de la norma ISSA TB 144, el diseño del Micropavimento es rechazado. En la Ilustración 26 se muestra un mapa resumen del procedimiento de diseño. (Palomino y Rodríguez, 2016)

Figura 41 Mapa Resumen del Procedimiento de Diseño

Fuente: Propia (2019)

3.3.4. Etapa 3: Evaluación de Desempeño al Diseño de Micropavimento

Para lograr este objetivo es necesario evaluar los resultados obtenidos de los ensayos de desempeño.

Para realizar dichos ensayos, lo primordial es establecer el contenido teórico de emulsión y teniendo en cuenta la manejabilidad de la mezcla con el agregado. Para obtener la dosificación teórica del Micropavimento, nos basamos en el Método de Duriez o también conocido como Método Francés.

El método Duriez realiza un cálculo del área superficial de los áridos, basado en la granulometría, y determina el porcentaje teórico de cemento asfáltico utilizando una constante denominada “módulo de riqueza”.

Para determinar el área específica de los agregados, Duriez calcula la contribución de cada fracción por medio de la siguiente ecuación aproximada

$$\text{Contribución al área} \left[\frac{m^2}{kg} \right] = \frac{2.5}{\sqrt{D} * d}$$

Donde:

D = tamaño máximo de los elementos mayores, en mm.

d = tamaño máximo de los elementos menores, en mm.

Para ello se debe seguir la siguiente fórmula:

$$SE = (1/100) * (0.237 G + 1.60 g + 12.85 A + 117.8 F)$$

Donde:

SE = Área Superficial o Superficie Específica

G = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz 3/4 y se retiene en el tamiz N° 04

g = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 04 y se retiene en el tamiz N° 40

A = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 40 y se retiene en el tamiz N° 200

F = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200

Una vez obtenida la superficie específica E, para obtener la cantidad de ligante se aplica la siguiente ecuación:

$$L[\%] = K * \sqrt[5]{E}$$

Donde:

L: es el porcentaje de asfalto residual en la lechada.

K: es el módulo de riqueza, que toma valores entre 5 y 7 según sea la granulometría elegida.

Para distintos valores de K, Duriez confeccionó tablas por medio de las cuales se puede hallar L (%), conocida la superficie específica como se ve en la Tabla 33.

Tabla 33 Tabla Duriez

E (m2 / Kg)	L (%), Según tipo de granulometría		
	K = 7 Fina	K = 6 Intermedia	K = 5 Gruesa
5	9,6	8,2	6,9
7	10,3	8,8	7,3
9	10,8	9,3	7,7
11	11,3	9,7	8,1
14	11,8	10,2	8,5
18	12,4	10,7	8,9
22	13,0	11,2	9,3
26	13,4	11,5	9,6
30	13,7	11,8	9,8
34	14,2	12,2	10,2

Fuente: Propia (2018)

En el caso de usar el ábaco, como se puede apreciar en la Figura 42, es necesario entender que cantidad de emulsión es necesaria, si es una gran cantidad a causa de tener mucho porcentaje de agregado fino (curva B), una cantidad media (curva G) o una cantidad baja (curva H).

Figura 42 Ábaco de Duriez

Fuente: COSAPI (2018)

Muestra A.

En la Tabla 34, se muestra la dosificación de la Muestra A.

Tabla 34 Dosificación del Micropavimento

Asfalto Teorico (%)	Emulsion Teorica (%)	Agua (%)	Aditivo (%)	Cemento (%)
9.0	14.4	7.0	1.0	0.3

Fuente: COSAPI (2019)

Para que se obtenga el desempeño esperado, se deben de tener en cuenta las siguientes restricciones:

- El porcentaje de agua que se indica es la añadida al agregado.
- Filler: Cemento Portland Tipo I.
- Tiempo de mezclado >120 segundos.
- Porcentajes en peso del agregado seco.

Luego, se realiza el ensayo de Cohesión en Húmedo (ISSA TB 139) a la mezcla asfáltica obtenida de la cantidad de emulsión asfáltica teórica (EAT) y la dosificación tentativa mencionada anteriormente dosificación, el cual proporciona la Curva de

respecto a los valores de Torque (kg.m) obtenidos en los periodos de tiempo 30', 60', 90' y 12' como se muestra en la Figura 43.

Figura 43 Curva de Cohesión-Muestra A

Para los otros dos ensayos los cuales son: Rueda Cargada (LWT) y Abrasión en Húmedo (WTAT) es necesario la elaboración de 6 probetas (3 para cada uno). En el caso de la Rueda Cargada, estas probetas deben de ser plaquetas de 5 cm de ancho y 38 cm de largo, y en el caso del ensayo de Abrasión en Húmedo, deben de ser circulares y el peso de la muestra debe de ser aproximadamente 1 kg. Cada una de esas probetas se realiza con moldes los cuales deben de estar normados. Por medio de estos 2 ensayos se puede hallar el Contenido Óptimo de Asfalto para el Micropavimento, el cual envolverá de manera eficaz y eficiente al agregado.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de dichos ensayos, los cuales nos permitieron llegar a obtener el valor de Contenido Óptimo de Asfalto gracias al Método de Áreas Equivalentes, como se puede apreciar en la Tabla 35 y la Figura 44.

Tabla 35 Datos para la elaboración del Método de Áreas Equivalentes-Muestra A

Cemento Asfáltico Mod. con Polímero	Emulsión (%)	WTAT (g/m ²)	LWT (g/m ²)
6.5	10.4	451.2	337.3
7.8	12.4	321.8	394.5
9.0	14.4	202.9	466.3

Fuente: COSAPI (2019)

Figura 44 Método de Áreas Equivalentes – Muestra A

Fuente: COSAPI (2019)

Obtener el Contenido Óptimo de Asfalto nos permite poder diseñar nuestra mezcla asfáltica con un buen desempeño, formando parte del Tipo III, a causa de su granulometría. La dosificación correcta es:

- Cantidad optima de emulsión asfáltica CQS-1hp : 12.6% (Rango de tasa de aplicación: 12.2 % a 12.9 % aplicación)
- Cantidad de agua : 8%
- Aditivo : 1%
- Cantidad de filler (Cemento Sol Tipo I) : 0.3%

Finalmente, se requiere repetir el ensayo de Cohesión utilizando en esta ocasión la cantidad óptima de emulsión hallada, la cantidad óptima de agua y la cantidad óptima de filler para obtener valores que se encuentren dentro del rango de la norma. Estos valores son de suma importancia ya que en obra permite indicar cuánto tiempo demora en romper la mezcla y el tiempo de apertura al tráfico.

Muestra B.

Al igual que en la Muestra A se deben de seguir los mismos pasos para obtener el diseño de mezcla optima de esta muestra.

A continuación en la Tabla 36 se presenta la dosificación teórica de la Muestra B.

Tabla 36 Dosificación del Micropavimento- Muestra B

Asfalto Teorico (%)	Emulsion Teorica (%)	Agua (%)	Aditivo (%)	Cemento (%)
9.2	14.6	4.5	0.3	0.3

Fuente: COSAPI (2018)

Para que se obtenga el desempeño esperado, se deben de tener en cuenta las siguientes restricciones:

- El porcentaje de agua que se indica es la añadida al agregado.
- Filler: Cemento Portland Tipo I.
- Tiempo de mezclado >120 segundos.
- Porcentajes en peso del agregado seco.

Luego, se realiza el ensayo de Cohesión en Húmedo (ISSA TB 139) a la mezcla asfáltica obtenida de la cantidad de emulsión asfáltica teórica (EAT) y la dosificación tentativa mencionada anteriormente dosificación, el cual proporciona la Curva de respecto a los valores de Torque (kg.m) obtenidos en los periodos de tiempo 30', 60', 90' y 12' como se muestra en la Figura 45.

Figura 45 Curva de Cohesión – Muestra B

Para el ensayo de Rueda Cargada (LWT) y 3 para el ensayo de Abrasión en Húmedo (WTAT) con las cuales se podrá hallar el Contenido Óptimo de Asfalto para el Micropavimento, el cual envolverá de manera eficaz y eficiente al agregado. Se presentan los resultados obtenidos de dichos ensayos, los cuales nos permitieron llegar a obtener el valor de Contenido Óptimo de Asfalto gracias al Método de Áreas Equivalentes, como se puede apreciar en la Tabla 37 y la Figura 46.

Tabla 37 Datos para la elaboración del Método de Áreas Equivalentes

Cemento Asfáltico Mod. con Polímero	Emulsión (%)	WTAT (g/m ²)	LWT (g/m ²)
6.7	10.6	475.7	255.6
7.9	12.6	367.3	377.2
9.2	14.6	297.3	496.8

Fuente: COSAPI (2018)

Figura 46 Método de Áreas Equivalentes – Muestra B

Fuente: COSAPI (2018)

Obtener el Contenido Óptimo de Asfalto nos permite poder diseñar nuestra mezcla asfáltica con un buen desempeño, formando parte del Tipo III, a causa de su granulometría. La dosificación correcta es:

- Cantidad optima de emulsión asfáltica CQS-1hp : 12.5% (Rango de tasa de aplicación: 12.2 % a 12.9 % aplicación)
- Cantidad de agua : 5.5%
- Aditivo : 0.3%
- Cantidad de filler (Cemento Portland Tipo I) : 0.3%

Muestra C.

En el caso de la muestra C, al tener una granulometría tan pegada a las arenas gruesas, no llegaron a ser ensayados en el laboratorio ya que la empresa encargada rechazo dicha muestra, por ende, al momento de realizar el ensayo de rueda cargada para obtener esos valores para la investigación nos basamos en la cantidad óptima de emulsión hallada en la Muestra A, ya que el material venia de la misma cantera.

4. RESULTADOS.

En este capítulo se presentará los resultados obtenidos de los ensayos realizados. Con dichos resultados podremos lograr los objetivos planteados al inicio de esta tesis de investigación. Se destacará las variables que han influido directamente en la investigación, ya que han sido de vital importancia para poder obtener los resultados deseados.

Mediante la prueba de hipótesis se verificaron con evidencias estadísticas los resultados y conclusiones presentadas con el fin de que todos los lectores amplíen sus conocimientos con respecto a los Micropavimentos.

4.1. Objetivo 1: Estimar un desplazamiento lateral del espécimen ensayado en la rueda cargada, el cual esté vinculado a la deformación permanente.

Para el logro de este objetivo nos propusimos hallar el rango desplazamiento lateral del espécimen ensayado en la rueda cargada. Con respecto a este objetivo, se tuvo que tomar las medidas de espesor y longitud de las 3 muestras (A, B y C) antes y después de ser ensayadas. Para éste caso utilizamos 2 plaquetas para cada muestra. A continuación, en la Tabla 38 y 39 se muestran los valores obtenidos, antes y después del ensayo.

Tabla 38 Desplazamiento del Micropavimento

MUESTRA	MEDIDAS					N° DE REPETICIONES	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	DESPLAZAMIENTO	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
	ESPESOR (mm)			LONGITUD (mm)			N° DE REPETICIONES	%	% máx
	ANTES	DESPUES	PROMEDIO	ANTES	DESPUÉS				
I-A	50	51.5	51.83	380	380	1100	1100	3.67%	5%
		52							
		52							
II-A	50	51.5	52.17	380	382	1100	1100	4.33%	5%
		52							
		53							
I-B	50	52	52.23	380	383	1100	1100	4.47%	5%
		52.5							
		52.2							
II-B	51	51.5	52.33	380	384	1100	1100	2.61%	5%
		52.5							
		53							
I-C	50	66	59.67	380	383	826	1100	19.33%	5%
		53							
		60							
II-C	51	58.5	58.50	380	384	946	1100	14.71%	5%
		56							
		61							

Fuente: Propia (2019)

Tabla 39 Valores antes y después del ensayo

MUESTRA	ESPESOR (mm)		DESPLAZAMIENTO (%)
	ANTES	DESPUÉS	
I-A	50	51.83	3.67 %
II-A	50	52.17	4.33 %
I-B	50	52.23	4.46 %
II-B	51	52.33	2.61 %
I-C	50	59.67	19.33 %
II-C	51	58.50	14.71 %

Fuente: Propia (2019)

Figura 47 Diagrama de Barras - Espesor Antes vs Después

Fuente: Propia (2019)

Figura 48 Diagrama de Barras - % Desplazamiento Lateral

Fuente: Propia (2019)

Se tuvo que tomar 3 medidas en la misma plaqueta para el espesor después del ensayo ya que el desplazamiento del Micropavimento no es uniforme y por ende fue necesario calcular un valor promedio. En la figura 47 y figura 48, se muestra un resumen en diagrama de barras de los resultados obtenidos respecto al desplazamiento lateral antes y después del ensayo de rueda cargada.

Las principales ventajas que ofrece la aplicación del Micropavimento en frío, es que brinda un confort semejante al de una carpeta asfáltica en caliente, absorbe esfuerzos tangenciales, la apertura al tráfico es rápida, provee bajo impacto ambiental, alcanza altos rendimientos en colocación, ofrece mayor tiempo de vida y es posible su aplicación en la costa, sierra y selva del Perú. El Micropavimento es la alternativa con más proyección en los contratos por niveles de servicio, aplicado en carreteras de alto volumen de tránsito.

Sin embargo, como se analiza en este capítulo existe un monto de deformabilidad permanente conocido como ahuellamientos en el Micropavimento de la curva granulométrica dentro del rango del Huso tipo III.

A continuación, verificamos los resultados de los de rueda cargada, abrasión en húmedo y cohesión realizados anteriormente, asimismo, se planteó la discusión con la optimización del huso granulométrico tipo III.

4.2.Objetivo 2: Evaluar por desempeño en laboratorio las propuestas de dosificación teórica para las diversas curvas granulométricas representativas dentro del huso tipo III.

Para el logro de este objetivo tuvimos que evaluar el desempeño de diseño teórico de micropavimentos en tres muestras.

Muestra A:

Ensayo de Rueda Cargada.

Como se mencionó en el caso para la Muestra A, para este proceso se requirieron nuevamente 3 especímenes moldeados en el laboratorio. En la Tabla 40 se muestra los valores de éstas 3 probetas y las evidencias en la figura 49.

Tabla 40 Resultado Ensayo Rueda Cargada - Muestra A

Muestra	Especificación	LWT (g/m ²)
1	Max. 538 g/m ²	337,3
2	Max. 538 g/m ²	394,5
3	Max. 538 g/m ²	466,3

Fuente: COSAPI (2019)

Figura 49 Evidencia Rueda Cargada-A

Fuente: COSAPI (2019)

Ensayo de Abrasión en Húmedo.

Para el ensayo de Abrasión en Húmedo se consideran (al igual que la Muestra A) 3 especímenes, los cuales fueron moldeados en laboratorio. En la Tabla 41 se muestran los resultados obtenidos del ensayo y la evidencia de éste en la Figura 50.

Tabla 41 Resultado Ensayo Abrasión-Muestra-A

Muestra	Especificación	WTAT (g/m ²)
1	Max. 538 g/m ²	451,2
2	Max. 538 g/m ²	321,8
3	Max. 538 g/m ²	202,9

Fuente: COSAPI (2019)

Figura 50 Evidencia Abrasión en Húmedo-A

Fuente: COSAPI (2019)

Ensayo de Cohesión.

Se realizó el ensayo de Cohesión en Húmedo con la Cantidad de Emulsión Asfáltica Teórica hallada mediante el método de Duriez. Asimismo, se empleó la dosificación compuesta por % asfalto, agua y aditivos, respecto a ésta como se muestra en la Tabla 42.

Tabla 42 Dosificación

TEMPERATURA LABORATORIO	% ASFALTO	% EMULSIÓN	% AGUA	% ADITIVO	% CEMENTO	TIEMPO DE MEZCLADO (Segundos)	COHESIÓN (kg-cm)	
							30 min	60 min
26°C aprox.	7.9	12.6	8.0	1.0	0.3	>120	17.0	20.0

Fuente: COSAPI (2019)

A continuación, en la Figura 51 se muestra la curva respecto a los valores de Torque (kg.m) obtenidos en los periodos de tiempo 30', 60', 90' y 12'. Además, la evidencia del desarrollo del ensayo en la Figura 52.

Figura 51 Curva de Cohesión

Fuente: COSAPI (2018)

Figura 52 Evidencia Cohesión-A

Fuente: COSAPI (2019)

Muestra B

Ensayo de Rueda Cargada.

Para el ensayo de Rueda Cargada se consideran 3 especímenes, los cuales fueron moldeados en laboratorio. A continuación se muestra los resultados y fotografías de especímenes ensayados en las Tabla 43 y figura 53, respectivamente.

Tabla 43 Resultado Ensayo de Rueda Cargada-Muestra B

Muestra	Especificación	LWT (g/m ²)
1	Max. 538 g/m ²	255,6
2	Max. 538 g/m ²	377,2
3	Max. 538 g/m ²	496,8

Fuente: COSAPI (2019)

Figura 53 Evidencia Rueda Cargada-B

Fuente: COSAPI (2019)

Ensayo de Abrasión en Húmedo.

Para el ensayo de Abrasión en Húmedo se consideran 3 especímenes, los cuales fueron moldeados en obra. A continuación se muestra los resultados y fotografías de especímenes ensayados en las Tabla 44 y figura 54, respectivamente.

Tabla 44 Resultado Ensayo Abrasión-Muestra B

Muestra	Especificación	WTAT (g/m ²)
1	Max. 538 g/m ²	475,7
2	Max. 538 g/m ²	367,3
3	Max. 538 g/m ²	297,3

Fuente: COSAPI (2018)

Figura 54 Evidencia Abrasión en Húmedo-B

Fuente: COSAPI (2018)

Ensayo de Cohesión.

Se realiza el ensayo de Cohesión en Húmedo con la Cantidad de Emulsión Asfáltica Teórica hallada median el método de Duriez. Asimismo, se emplea la dosificación compuesta por % asfalto, agua y aditivos, respecto a ésta como se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45 Dosificación

TEMPERATURA LABORATORIO	% ASFALTO	% EMULSIÓN	% AGUA	% ADITIVO	% CEMENTO	TIEMPO DE MEZCLADO (Segundos)	COHESION (kg-cm)	
							30 min	60 min
22°C-25°C aprox	7.9	12.6	5.5	0.3	0.3	>120	17	21

Fuente: COSAPI (2018)

A continuación, en la Figura 55 se muestra la curva respecto a los valores de Torque (kg.m) obtenidos en los periodos de tiempo 30', 60', 90' y 12'. Además, la evidencia de los especímenes después de realizado el ensayo, en la Figura 56.

Figura 55 Curva de Cohesión

Fuente: COSAPI (2018)

Figura 56 Evidencia Cohesión-B

Fuente: COSAPI (2019)

Muestra C.

Ensayo de Rueda Cargada

Al igual que en las anteriores dos muestras, se requirieron 3 probetas para ser ensayadas. En éste caso, al fallar la muestra antes de llegar a completar todas las repeticiones del ensayo como se muestra en la Tabla 46 y Figura 57, no se pudo realizar la prueba de exudación, ya que esto se realiza con las muestras que pasan el ensayo de Rueda Cargada.

Tabla 46 Resultado Ensayo de Rueda Cargada-Muestra C

Muestra	Especificación	LWT (g/m ²)
1	Max. 538 g/m ²	632,7
2	Max. 538 g/m ²	703,1
3	Max. 538 g/m ²	695,6

Fuente: COSAPI (2019)

Figura 57 Evidencia Rueda Cargada C

Fuente: COSAPI (2019)

Prueba de Verificación Schulze Breuer and Ruck.

Para el desarrollo de la prueba de verificación se consideran criterios para la clasificación de las 8 probetas por cada muestra. Entre estos se encuentra la pérdida de abrasión, adhesión e integridad, siendo el mínimo puntaje aceptable 11 (AAA, BAA) como se muestra en la Tabla 47.

Tabla 47 Criterio de 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: COSAPI (2019)

Muestra A:

Se toman y recolectan datos de peso en seco y húmedo, así como de absorción, pérdida de abrasión e integridad a 8 probetas del tipo de muestra A como se muestra en la Tabla 48.

Tabla 48 Prueba de Verificación - Muestra A

ENSAYO DE VERIFICACIÓN SCHULZE BREUER AND RUCK - MUESTRA A									
Prueba	Peso seco	Peso Húmedo	Peso después del Ensayo de Abrasión	Peso después del ensayo Adherencia 30min ebullición	Peso sat. Seco después del Ensayo de Adherencia	Absorción %	Abrasión gramos	Adhesión %	Integridad %
1	41.90	43.40	42.95	42.83	41.95	3.58	0.45	96.66	98.69
2	41.73	43.13	42.64	42.46	41.74	3.35	0.49	96.78	98.45
3	42.09	43.41	42.93	42.57	42.02	3.14	0.48	96.80	98.06
4	41.85	43.06	42.46	42.26	41.82	2.89	0.60	97.12	98.14
5	41.81	43.20	42.64	42.59	41.88	3.32	0.56	96.94	98.59
6	41.92	43.31	42.78	42.33	41.84	3.32	0.53	96.61	97.74
7	41.92	43.24	42.70	42.41	41.94	3.15	0.54	96.99	98.08
8	41.95	43.14	42.62	42.21	41.85	2.84	0.52	97.01	97.84
Promedio	41.90	43.24	42.72	42.46	41.88	3.20	0.52	96.86	98.20

Fuente: COSAPI (2019)

Finalmente, al promedio de estas probetas se clasifican según especificaciones y se evidencia el ensayo como se aprecia en la Tabla 49 e Figura 58, respectivamente.

Tabla 49 Clasificación de Muestra A

	Abrasión (g)	Adhesión (%)	Integridad (%)	TOTAL
Promedio	0.52	96.86	98.20	
Puntaje	4	4	4	12
Grado	A	A	A	AAA

Fuente: Propia (2019)

Figura 58 Evidencia Verificación- A

Fuente: COSAPI (2019)

Muestra B.

De igual forma, para la muestra B se toman y recolectan datos de peso en seco y húmedo, así como de absorción, pérdida de abrasión e integridad a 8 probetas como se muestra en la Tabla 50.

Tabla 50 Prueba de Verificación - Muestra B

ENSAYO DE VERIFICACIÓN SCHULZE BREUER AND RUCK - MUESTRA B									
Prueba	Peso seco	Peso Húmedo	Peso después del Ensayo de Abrasión	Peso después del ensayo Adherencia 30min ebullición	Peso sat. Seco después del Ensayo de Adherencia	Absorción %	Abrasión gramos	Adhesión %	Integridad %
1	42.80	44.10	43.30	42.83	41.95	3.04	0.80	93.25	98.55
2	42.20	43.75	42.98	42.46	41.74	3.67	0.77	93.30	98.34
3	42.09	43.52	42.70	42.57	42.02	3.40	0.82	94.03	98.62
4	41.85	43.25	42.46	42.26	41.82	3.35	0.79	93.15	98.14
5	41.81	43.40	42.60	42.59	41.88	3.80	0.80	93.88	98.02
6	42.03	43.31	42.48	42.33	41.84	3.05	0.83	93.05	97.88
7	42.15	43.78	42.90	42.41	41.94	3.87	0.88	92.50	98.53
8	41.95	43.44	42.62	42.21	41.85	3.55	0.82	92.75	98.40
Promedio	42.11	43.57	42.76	42.46	41.88	3.47	0.81	93.24	98.31

Fuente: COSAPI (2019)

Finalmente, los promedios de estas probetas se clasifican según especificaciones y se evidencia el ensayo como se aprecia en la Tabla 51 y Figura 59, respectivamente.

Tabla 51 Clasificación de Muestra B

	Abrasión (g)	Adhesión (%)	Integridad (%)	TOTAL
Promedio	0.81	93.24	98.31	
Puntaje	3	4	4	11
Grado	B	A	A	BAA

Fuente: Propia (2019)

Figura 59 Evidencia Verificación-B

Fuente: COSAPI (2019)

4.3.Objetivo 3: Proponer una mejora al huso granulométrico tipo III de la EG2013 en los tamaños entre arenas medias y final, tamices N°30 y >N°200.

Para lo cual nos propusimos explicar con evidencias estadísticas la mejora del huso granulométrico tipo III en los tamaños entre las arenas medias y finas, tamices N°30 y >N°200.

Con respecto a los resultados presentados en la investigación, al realizar la comparación entre tres tipos de arenas con distinta distribución granulométrica, hemos podido comprobar que existe un rango admisible dentro de los agregados de huso tipo 3 antes de llegar a un ahuellamiento.

Según los valores encontrados, podemos confirmar que entre más cercano sea el agregado a los gruesos, es mucho más probable que exista un ahuellamiento, como se demostró con la muestra C. Por medio de estos ensayos hemos comprobado que existe un rango admisible promedio entre la recta B y C, que teóricamente no permitirá que exista ahuellamiento como se ve en la tabla 52 y se representa gráficamente en la figura 60.

Tabla 52 Propuesta de mejora Huso tipo III

HUSO TIPO III		MUESTRA	PROPUESTA
SERIE	MÍNIMO	B	V. MÍNIMA
3/8"	100,00	100,0	100,00
Nº 4	70,00	81,0	70,00
Nº 8	45,00	53,0	45,00
Nº 16	28,00	33,0	28,00
Nº 30	19,00	22,0	22,0
Nº 50	12,00	15,0	15,0
Nº 100	7,00	11,0	11,0
Nº 200	5,00	8,0	8,0

Fuente: Propia (2019)

Figura 60 Mejora Huso granulométrico tipo III

Fuente: Propia (2019)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1.Conclusiones.

En base al Objetivo 1 planteado. Estimar un desplazamiento lateral del espécimen ensayado en la rueda cargada, el cual esté vinculado a la deformación permanente. La deformación permanente es medida vía el desplazamiento lateral el cual según la ISSA tiene como valor admisible máximo 5%. Según las pruebas realizadas en la presente tesis de investigación los valores de la Muestra A y B revelan que se encuentran al límite del valor admisible de acuerdo a norma, 4.33% y 4.47% respectivamente. En caso de la Muestra C el valor obtenido fue 19.33%, debido a que el porcentaje de pasantes entre la mallas N°30 y >N°200 de ésta granulometría se encuentra cercano al límite inferior del huso tipo 3. Esto demuestra que existe una ausencia de finos que se ve reflejado en la falta de confinamiento en la mezcla dando como consecuencia la falla por ahuellamiento.

En base al Objetivo 2 planteado. Evaluar por desempeño en laboratorio las propuestas de dosificación teórica para las diversas curvas granulométricas representativas dentro del huso tipo III.

Al evaluar el diseño teórico por desempeño de los Micropavimentos en el laboratorio, podemos concluir que tanto la Muestra A, como la Muestra B, las cuales tienen un mayor porcentaje de finos (partículas finas que pasan la malla #30 a >#200) corroboran que dicho grupo de partículas son de gran importancia para el rendimiento del Micropavimento como se muestra a continuación en las conclusiones de las pruebas por desempeño.

- Por medio del Ensayo de Rueda Cargada se concluyó que las mezclas de las Muestras A y B, no presentan exudación lo cual demuestra que el Micropavimento será resistente y durable.
- Por medio del Ensayo de Abrasión se concluyó que las mezclas de las Muestras A y B, conservarán sus propiedades mecánicas y su integridad, por el tiempo de vida útil del Micropavimento.
- Por medio del Ensayo de Cohesión se concluyó que las mezclas de las Muestras A y B, cumplirán con el tiempo proyectado, 2 horas, de apertura al tráfico.

A diferencia de esto, el diseño de la muestra C es descartado inmediatamente al no cumplir el ensayo de la Rueda Cargada por presentar deformación permanente a causa de la falta de confinamiento en la mezcla.

En base al Objetivo 3 planteado. Proponer una mejora para el huso granulométrico tipo III de la EG2013 en los tamaños entre las arenas medias y finas, pasantes de los tamices N°30 y >N°200. Podemos concluir que tanto al hacer un análisis a las curvas de las Muestras A, B y C, y la limitante inferior, brindada por la norma, podemos contrastar que las curvas más cercanas a ésta última fallan, a pesar de estar dentro del rango establecido.

5.2.Recomendaciones.

Se recomienda que, en proyectos similares, se considere un adecuado chancado de arenas, a fin de contar con suficientes montos para las dimensiones de arenas medias a arenas finas a pesar de disponerse de materiales que cumplen las especificaciones.

Se recomienda también realizar el ensayo de exudación sólo a las muestras que pasaron el ensayo de rueda cargada con 1000 repeticiones, ya que en el caso de fallar se realizará una nueva muestra y la información obtenida no será relevante.

Se recomienda tomar directamente la medida de ahuellamiento luego de realizarse el ensayo de rueda cargada y hallar una relación proporcional de los valores de ahuellamiento vs desplazamiento lateral. Para la presente tesis, tener en cuenta que los valores obtenidos en el desplazamiento lateral para las muestras aprobatorias son muy cercanos al límite permisible por la ISSA A143, por lo cual podría ser tema de futuras investigaciones.

Tener en consideración que los resultados de cohesión muchas veces, como ha sido en el caso de esta investigación, los valores no varían pues se mantuvo en 16 g/cm² a partir de la segunda muestra ensayada, pero si evidenciaba una diferencia visual.

Finalmente, en futuras investigaciones es conveniente comprobar si lo validado en esta tesis, se puede aplicar también para agregados de procedencia distinta a la fluvial-triturada, verificando inclusive para diversas mineralogías y espesores de capa de rodadura.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). Guide for Design of Pavement Structures. Washington: AASHTO
2. Cámara Chilena de Construcción-CCHC. (2014). Pavimentos. 9 de setiembre de 2018, de (Cámara Chilena de Construcción-CCHC Recuperado de: <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/Pavimentos.pdf>
3. Corporación Andina de Fomento-CAF. (2010). Mantenimiento Vial. 25 de setiembre de 2018, de CAF Recuperado de: http://publicaciones.caf.com/media/1133/IS_Mantenimiento_vial.pdf
4. Chang Sun, David A. Lange, Jianzhuang Xiao, Tao Ding (2017). Contac behavior between cracked surfaces of recycled aggregate concrete. EL SEVIER. Volume 155. pp. 1168-1178. De Science Direct Base de datos.
5. 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. 9 de setiembre del 2018. Recuperado de: (<http://www.bituper.com/productos/emulsiones-asfalticas/rotura-controlada>)
6. Dawei Wang, Pengfei Liu, Huining Xu, Jonas Kollmann, Markus Oeser (2018). Evaluation of the polishing resistance characteristics of fine and coarse aggregate for asphalt pavement using Wehner/Schulze test. EL SEVIER. Volume 163. Pag 742-750. De Science Direct Base de datos.
7. Federal Highway Administration. (1994). Stateof the Practice Design, Construction, and Performance of Micro-Surfacing. 9 de setiembre de 2018, de Federal Highway Administration Rescatado de: <https://es.slideshare.net/lcomar/micro-pavimentosfhwas940511>
8. Filippo G. Praticò, Armando Astolfi. (2017).A new and simplified approach to assess the pavement surface micro-and macrotecture. El Sevier, 148, 476–483. 18 de agosto de 2018, De Science Direct Base de datos.
9. International Slurry Surfacing Association (ISSA). (2005). Recommended Performance Guideline for Micro Surfacing. Washington: ISSA. Recuperado de: <https://www.slurry.org/store/ListProducts.aspx?catid=604825&ftr=>
10. Garnica Anguas, Paul, Gómez López, José Antonio. (2001). DEFORMACIONES PERMANENTES EN MATERIALES GRANULARES PARA LA SECCION ESTRUCTURAL DE CARRETERAS. 5 de noviembre de 2018, de Instituto Mexicano del Transporte Recuperado de: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt176.pdf>
11. Gobierno Regional de Huancavelica. (2016). Estudio de Diagnóstico y Zonificación para el Tratamiento de la Demarcación Territorial de la Provincia de Acobamba. 29 de octubre de 2018, de Gobierno Regional de Huancavelica Rescatado de: <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/08/EDZ-Acobamba.pdf>
12. Hugo Alexander Rondón, Fredy Reyes. (2007). DEFORMACIÓN PERMANENTE DE MATERIALES GRANULARES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: ESTADO DEL CONOCIMIENTO. 5 de noviembre de 2018, de Revista Ingenierías Universidad de Medellín Rescatado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n14/v8n14a06.pdf>
13. Instituto Geofísico del Perú (IGP). (S/F). El clima en el Perú-Acobamba. 29 de octubre de 2018, de Instituto Geofísico del Perú (IGP) Recuperado de:

- <http://www.met.igp.gob.pe/clima/HTML/acobamba.html>
14. Instituto Nacional de Vías-Colombia. (2014). Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. 9 de setiembre de 2018, de Instituto Nacional de Vías-Colombia Recuperado de: <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/harenas/docs/PAVIMENTOS/DOCUMENTOS%20DE%20CONSULTA/CAP%C3%8DTULO%204.pdf>
 15. Jiangfeng Wu, Linbing Wang, Yue Hou, Zhenyu Qian, Lingjian Meng, Qian Zhao (2018). Simulation on the Micro-Deval test for the aggregate wear properties measurement. EL SEVIER. Volume 180. Pag 445-454. De Science Direct Base de datos.
 16. Ke Zhang, Zhengqi Zhang, Yaofei Luo, Siyuan Huang (2017). Accurate detection and evaluation method for aggregate distribution uniformity of asphalt pavement. EL SEVIER. Volume 152. Pag 715-730. De Science Direct Base de datos.
 17. Mendez L.; Escobar R. (2013). Geotextiles y Micropavimentos. 9 de setiembre de 2018, de Universidad Politécnica de Ingeniería Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/176632016/Geotextiles-y-Micropavimentos>
 18. MINAYA GONZALEZ, SILENE; ORDÓÑEZ HUAMAN, ABEL. (2001). MANUAL DE LABORATORIO ENSAYOS PARA PAVIMENTOS VOLUMEN I. 5 de noviembre de 2018, de Universidad Nacional de Ingeniería-UNI Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/2416949/MANUAL-DE-ENSAYOS-PARA-PAVIMENTOS>
 19. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (2000). MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES. LIMA, PERÚ: MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.
 20. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras. 9 de setiembre de 2018, de Ministerio de Transportes y Comunicaciones Recuperado de: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf
 21. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras-Conservación Vial. 8 de octubre de 2018, de Ministerio de Transportes y Comunicaciones Recuperado de: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4877.pdf
 22. Mohammad Saberian, Jie Li , Bao Nguyen, George Wang . (2018). Permanent deformation behaviour of pavement base and subbase containing recycle concrete aggregate, coarse and fine crumb rubber. El Sevier, 178, 51–58. 18 de agosto de 2018, De Science Direct Base de datos.
 23. Mohamed Ibrahim Hachani, Abdelouahed Kriker, Mehdi Seghiri (2017). Experimental study and comparison between the use of natural and artificial coarse aggregate in concrete. EL SEVIER. Volume 119. Pag. 182-191. De Science Direct Base de datos.
 24. Rajiv Kumar, Dr. Teiborlang Lyngdoh Rynthiang. (2016). New Laboratory Mix Methodology of Microsurfacing and Mix Design. El Sevier, 156, 488 – 497. 18 de agosto de 2018, De Science Direct Base de datos.
 25. Rodríguez T. Rogelio, Castaño M. Víctor, Martínez M. Miguel. (2001). EMULSIONES ASFALTICAS. 22 de octubre de 2018, de Instituto Mexicano de Transportes.
 26. Recuperado de: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>
 27. Sareh Kouchaki, Hossein Roshani, Jorge A. Prozzi, Joaquin Bernardo Hernandez . (2017). Evaluation of aggregates surface micro-texture using spectral analysis. El

- Sevier, 156, 944–955. 18 de agosto de 2018, De ScienceDirect Base de datos.
28. Universidad Mayor de San Simón. (2004). Pavimentos. 9 de setiembre de 2018, de Universidad Mayor de San Simón Recuperado de: <https://civilgeeks.com/2012/06/28/descargar-libro-completo-de-pavimentos/>
 29. Unidad de Materiales y Pavimentos. (2012). Manual de Diseño de Mezcla de Laboratorio para los Sellos de Lechada Asfáltica (Slurry Seals) en Costa Rica. 9 de setiembre de 2018, de Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales-LanammeUCR Recuperado de: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/banco-de-informacion-digital-on-line/2013/LM-PI-UMP-%2001-12.pdf>
 30. Weather Spark. (2018). El clima promedio en Lucanas. 15 de octubre de 2018, de Weather Spark Recuperado de: <https://es.weatherspark.com/y/23229/Clima-promedio-en-Lucanas-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
 31. Xiaolong Sun, Xiao Qin, Shanqiang Li, Chao Zou, Chaohui Wang, Xuancang Wang. (2018). Characterization of thermal insulating micro-surfacing modified by inorganic insulating material. El Sevier, 175, 296–306. 18 de agosto de 2018, De Science Direct Base de datos.
-

7. ANEXOS

Anexo 1. FICHA TÉCNICA

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE CANTERA TRAMO V			
1. INFORMACIONES FUNDAMENTALES
NOMBRE	RIO MANATRO		
UBICACIÓN	km.: 156+000		
ACCESO	A 1km. Del final del tramo		
DISPONIBILIDAD	En curso		
AREA A EXPLOTAR m2	15000		
PROFUNDIDAD m.	3.0		
POTENCIA m3	45000		
EPOCA DE EXPLOTACIÓN	Marzo a Noviembre		
FORMAS DE EXPLOTACIÓN	Tractor,cargador frontal,zaranda,volquetes y chancadora		
2. DATOS DE LOS MATERIALES NATURALES			
a) Piedra %		b) Arena %	c) Fino %
58.5		38.5	3.0
Porcentaje de bolonería > 2"	25%	Gradación granulométrica	
Tamaño máximo (plg)	12	Bien gradada	X
Forma de las partículas		Mal gradada	
Angular		Partículas predominantes	
Sub angular		Gruesas o finas	GRUESA
Redondeada	X	Material fino predominante	
Sub-redondeada		Arcillas o arenas	ARENAS
3. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES			
TIPO DE ENSAYO	RESULTADO	TIPO DE ENSAYO	RESULTADO
Análisis granulométrico (ASTM C 136)	SATISFACTORIO	Maxima Dens. Proctor (ASTM D 1557)	2.235 gr/cm3
Clasificación SUCS	GW	Humedad Optima	7.5%
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	CBR al 100%(ASTM D 1883) NATURAL	64.6%
Límite Líquido (ASTM 43 18)	22	Abrasión por máquina Los Angeles (ASTM C 131)	28.1%
Límite Plástico (ASTMD 43 18)	N.P	Materia orgánicas (ASTM C 40)	0.70%
Índice Plástico (ASTM D 43 18)	N.P	Sales solubles agregado fino	Aceptable
Equivalente de arena (ASTM D 24 19)	65%		
Humedad Natural (ASTM D 22 16)	5.0%		
N° SONDAJES EJECUTADOS	3	N° MUESTRAS TOMADAS	6
USOS	RENDIMIENTO	TRATAMIENTO	
Rellenos (Transitabilidad)	75%	N1Z	
Sub-base granular (Recarga)	75%	Z	
Micropavimento	30%	TA	
Concreto hidraulico	75%	ZL	
TRATAMIENTO (leyenda)			
N1: Explotación directa elimina mayores de 3"	A: Aditivo mejorador de adherencia		
Z: zarandeo	S: Secado		
T: Trituración	N2: Explotación directa del material		
F: Filler	L: Lavado		
	M: Mezcla		

Anexo 2. CUADRO RESUMEN DE ESTUDIO DE CANTERAS TRAMO V.

CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO - CANTERA MANTARO KM.:156+000																																		
ITEM	FECHA	CANTERA	UBICACIÓN (km.)	LADO	CALICATA	% QUE PASA EL TAMIZ												CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	Mat. Org. (%)	Equiv. De Arena (%)	PRÓCTOR MODIF.		CBR A 100% DE LA MDS A 0.1"	Abrasión (%)					
						4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL				LP	IP			SUCS	AASHTO NATURAL	MDS (g/cm ³)	H OPT. (%)	
1	01/11/13				C1	100.0	100.0	100.0	94.0	81.4	68.9	61.6	53.4	49.3	40.7	33.2	23.1	14.4	10.9	5.7	3.2	21	NP	NP	GW	A-1a(0)	2.2	0.9	66	2235	7.5	64.6	29.0	
2	01/11/13	MANTARO	156+000	ZQ	C2	100.0	95.4	100.0	97.6	86.4	72.5	64.4	56.1	52.4	43.9	36.1	22.6	10.6	7.3	3.5	2.2	22	NP	NP	GW	A-1a(0)	2.3	0.4	69	--	--	--	28.2	
3	01/11/13				C3	100.0	100.0	100.0	89.9	80.3	66.7	59.9	51.0	47.4	39.8	32.1	20.8	11.3	7.8	4.6	3.4	21	NP	NP	GW	A-1a(0)	2.7	0.8	62	--	--	--	27.1	
n						3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
Xp						100.0	98.5	100.0	93.8	82.7	69.3	62.0	53.5	49.7	41.5	33.8	22.2	12.1	8.6	4.6	3.0	22	NP	NP	GW	A-1a(0)	2.4	0.7	66	2235	7.5	64.6	28.1	
MIN						100.0	95.4	100.0	89.9	80.3	66.7	59.9	51.0	47.4	39.8	32.1	20.8	10.6	7.3	3.5	2.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
MAX						100.0	100.0	100.0	97.6	86.4	72.5	64.4	56.1	52.4	43.9	36.1	23.1	14.4	10.9	5.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
ESPECIFICACIONES						--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Max 10%	--	--	Max 1%	--	--	--	--	--	Max 50%	
DESV. ESTANDAR						0.0	2.7	0.0	3.9	3.2	2.9	2.3	2.6	2.5	2.2	2.1	1.2	2.0	1.9	1.1	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
VARIANZA						0.0	7.1	0.0	14.8	10.6	8.7	5.2	6.7	6.3	4.8	4.3	1.4	4.0	3.7	1.1	0.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
COEF. VARIACION						0.0	2.7	0.0	4.1	3.9	4.3	3.7	4.8	5.0	5.3	6.1	5.4	16.4	22.4	23.3	21.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
ACEPTABILIDAD						ACEPTABLE																ACEPTABLE	Cumple	CUMPLE	Accept	Cumple	Cumple	ACEPTABLE	Accept	Cumple	Cumple			

Anexo 3. Fuentes de Agua

DIAGRAMA DE CANTERAS DEL TRAMO V ACOBAMBA PUENTE ALCOMACHAY

Anexo 4. Ficha Emultec – Muestra A

EMULTEC CQS-1HP

EMULSIÓN CATIÓNICA DE RUPTURA CONTROLADA CON POLIMERO

GUÍA TDM ASFALTOS :
 CLIENTE: CONSORCIO VIAL ACOBAMBA
 REFERENCIAS: EXPEDIENTE MP. 001-2019 LAB TDM ASFALTOS
 TANQUE: CINTILLO DE SEGURIDAD N°:
 LOTE DE PRODUCCIÓN: MINIPLANTA
 CANTIDAD: 4 KILOGRAMOS
 FECHA DE PRODUCCIÓN: 10/01/2019

ENSAYOS SOBRE EMULSIÓN	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL, 25 °C	D 7496	ssf	20	100	43
RESIDUO POR EVAPORACION	D 6934	%	62	-,-	62.5
SEDIMENTACION A LOS 7 DIAS	D 6930	%	-,-	5	0.3
PRUEBA DEL TAMIZ N° 20	D 6933	%	-,-	0.1	0.00
CARGA DE PARTÍCULA	D 7402		POSITIVA		POSITIVA

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE EMULSIÓN					
PENETRACIÓN, 25°C, 100 g, 5 s	D 5	dmm	50	90	55
DUCTILIDAD, 5°C, 5 cm/min	D 113	cm	10	-,-	18.0
RECUPERACION ELASTICA LINEAL, 25°C, 20 cm	D 6084	%	30	-,-	40.0

OBSERVACIONES: El producto cumple especificaciones de calidad MTC-EG-2013
 Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada
 PE:1.00

Original: Cliente
 Copia 1: Área Técnica
 Copia 2: Producción
 Copia 3: Laboratorio

 Hector Huapaya
 Laboratorista

 Wendy Herencia
 Jefe del área técnica

Fecha de Emisión : Lima, 16 de enero del 2019

La información contenida en este documento se basa en ensayos adecuados, seguros y correctos. Las recomendaciones, rendimientos y sugerencias no constituyen garantías ya que, al estar fuera de nuestro alcance controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

TDM ASFALTOS se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.

Mz. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín. Teléfono (511) 6169311 Fax: 6169313

REG-III-TEC-120.V01

Anexo 5. Ficha Emultec – Muestra B

EMULTEC CQS-1HP

EMULSIÓN CATIÓNICA DE RUPTURA CONTROLADA CON POLIMERO

INFORME DE ENSAYO N° 040-2014 EMULTEC CQS-1HP

GUIA TDM ASFALTOS :

CLIENTE:

CONSORCIO VAL ACOSAMBA

REFERENCIAS:

EXPEDIENTE M.P. 006 - 2014 - LAB TDM ASFALTOS

TANQUE:

CINTILLO DE SEGURIDAD N°:

LOTE DE PRODUCCIÓN:

MINIPLANTA

CANTIDAD:

01 GALON

FECHA DE PRODUCCIÓN:

12/05/2014

ENSAYOS SOBRE EMULSIÓN	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MINIMO	MAXIMO	
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL 25 °C	D 7496	ssf	20	100	32
DESTILACION	D 6997				
- CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL	D 6997	%	62	--	62.7
- CONTENIDO DE DISOLVENTES	D 6997	%	--	--	0
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24 horas, %	D 6930	%	--	1	0.6
PRUEBA DEL TAMIZ N° 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	71
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D 36	°C	57	--	56.2
DUCTILIDAD, 25°C, 5 cm/min	D 113	cm	40	--	59.5
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D 2042	%	97.5	--	99.9

OBSERVACIONES: El producto cumple especificaciones de calidad

Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada

PE:1.00 g/cm³

Original: Cliente
Copia 1: Área Técnica
Copia 2: Producción
Copia 3: Laboratorio

Osvaldo Gonzales
Laboratorista

Ing. Wendy Herencia Peña
Jefe del Área Técnica

Fecha de Emisión : Lima, 15 de Mayo del 2014

La información contenida en este documento se basa en ensayos adecuados, seguros y correctos. Las recomendaciones, rendimientos y sugerencias no constituyen garantías ya que, al estar fuera de nuestro alcance controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

TDM ASFALTOS se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.

Mz. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurin - Lurin. Teléfono (511) 6169311 Fax: 6169313

ASF-R-TEC-21.V02

Anexo 6. Ficha Emultec – Muestra C

EMULTEC CQS-1HP

EMULSIÓN CATIÓNICA DE RUPTURA CONTROLADA CON POLIMERO

GUIA TDM ASFALTOS :

CLIENTE:

CONSORCIO VIAL ACOBAMBA

REFERENCIAS:

EXPEDIENTE MP. 001-2019 LAB TDM ASFALTOS

TANQUE:

CINTILLO DE SEGURIDAD N°:

LOTE DE PRODUCCIÓN:

MINIPLANTA

CANTIDAD:

4 KILOGRAMOS

FECHA DE PRODUCCIÓN:

10/01/2019

ENSAYOS SOBRE EMULSIÓN	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL, 25 °C	D 7496	ssf	20	100	43
RESIDUO POR EVAPORACION	D 6934	%	62	-.-	62.5
SEDIMENTACION A LOS 7 DIAS	D 6930	%	-.-	5	0.3
PRUEBA DEL TAMIZ N° 20	D 6933	%	-.-	0.1	0.00
CARGA DE PARTÍCULA	D 7402		POSITIVA		POSITIVA

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE EMULSIÓN					
PENETRACIÓN, 25°C, 100 g, 5 s	D 5	dmm	50	90	55
DUCTILIDAD, 5°C, 5 cm/min	D 113	cm	10	-.-	18.0
RECUPERACION ELASTICA LINEAL, 25°C, 20 cm	D 6084	%	30	-.-	40.0

OBSERVACIONES: El producto cumple especificaciones de calidad MTC-EG-2013

Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada

PE:1.00

Original: Cliente
Copia 1: Área Técnica
Copia 2: Producción
Copia 3: Laboratorio

Hector Huapaya
Laboratorista

Wendy Herencia
Jefe del área técnica

Fecha de Emisión : Lima, 16 de enero del 2019

La información contenida en este documento se basa en ensayos adecuados, seguros y correctos. Las recomendaciones, rendimientos y sugerencias no constituyen garantías ya que, al estar fuera de nuestro alcance controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

TDM ASFALTOS se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.

Mz. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín. Teléfono (511) 6169311 Fax: 6169313

REG-IIITEC-120.V01

Anexo 7. Grupo de Proceso de Trituración-Muestra A

RESUMEN DE ARENA CHANCADA PARA MICROPAVIMENTO - CANTERA CENTRO KM.: 46+700 LADO DERECHO															
ITEM	FECHA	MUESTRA	CANTERA	UBICACIÓN KM.:	LADO	% QUE PASA								IP < MALLA Nº 40 (%)	EQ. ARENA (%)
						3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200		
1	15/12/18	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	88.9	49.6	49.1	33.5	22.2	14.5	10.0	NP	72
2	08/12/18	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	88.7	52.4	48.2	33.7	21.0	16.4	10.4	NP	72
3		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.0	49.3	42.1	33.2	21.7	17.6	13.1	NP	72
4	02/12/18	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	88.5	54.4	48.3	33.1	22.6	16.2	13.1	NP	73
5		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.7	68.7	43.9	33.6	19.1	17.8	12.4	NP	73
6	25/11/18	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	87.1	66.4	44.8	33.7	18.3	15.5	10.3	NP	72
7		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.3	67.0	47.9	33.8	23.7	17.9	11.5	NP	73
8	21/11/18	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	88.2	65.4	41.9	33.1	20.7	15.4	10.2	NP	73
9		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	88.6	65.5	48.1	30.9	22.1	17.4	9.2	NP	72
10	20/11/18	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.1	65.7	48.5	31.8	24.8	12.1	7.2	NP	73
11	15/11/2018	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.5	65.5	48.1	33.2	24.3	16.2	10.2	NP	71
12		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.9	64.8	42.9	30.9	20.2	11.3	8.5	NP	72
13		M3	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	88.6	64.1	49.7	32.3	21.2	13.1	13.1	NP	72
14	10/11/2018	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	88.7	66.7	49.8	33.4	21.1	11.3	8.2	NP	72
15		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.3	64.0	41.9	33.7	20.7	14.2	6.9	NP	73
16	02/11/2018	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.7	67.2	40.6	32.9	17.1	12.1	8.7	NP	72
17		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	86.9	69.7	39.5	32.7	23.5	13.7	8.1	NP	72
18	28/10/2018	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.0	65.9	48.2	33.5	21.8	14.2	9.8	NP	71
19		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	88.6	67.8	41.6	33.2	23.0	14.1	10.8	NP	71
20	16/10/2018	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.7	69.7	44.8	32.4	23.4	13.5	9.8	NP	72
21		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.0	68.7	49.7	32.9	23.7	13.2	7.2	NP	72
22		M3	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	88.0	69.8	48.7	33.8	22.4	12.1	9.1	NP	71
n						22	22	22	22	22	22	22	22	0	22
Σ						2,200.0	1,954.1	1,408.2	1,008.3	725.3	478.6	319.8	217.8	NP	1,586.0
Especificación		Mín.				100	70	45	28	19	12	7	5	NP	Min. 60%
		Máx.				100	90	70	50	34	25	18	15		
Xp						100.0	88.8	64.0	45.8	33.0	21.8	14.5	9.9	NP	72
MIN						100.0	86.9	49.3	39.5	30.9	17.1	11.3	6.9	NP	71
MAX						100.0	89.9	69.8	49.8	33.8	24.8	17.9	13.1	NP	73
DESV. ESTÁNDAR						0.0	0.8	6.4	3.4	0.8	1.9	2.1	1.9	NP	1
VARIANZA						0.0	0.6	40.8	11.8	0.7	3.7	4.5	3.6	NP	0
COEF. VARIACIÓN						0.0	0.9	10.0	7.5	2.6	8.9	14.6	19.1	NP	1
CONDICIÓN						CUMPLE								CUMPLE	CUMPLE

Anexo 8. Grupo de Proceso de Trituración-Muestra B

RESUMEN DE ARENA CHANCADA PARA MICROPAVIMENTO - CANTERA CENTRO KM.: 46+700 LADO DERECHO															
ITEM	FECHA	MUESTRA	CANTERA	UBICACIÓN KM.:	LADO	% QUE PASA								IP < MALLA N° 40 (%)	EQ. ARENA (%)
						3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200		
1	01/02/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	80.8	49.6	30.3	21.2	12.7	10.0	6.7	NP	72
2	04/02/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	75.3	52.4	28.7	21.5	12.5	10.2	6.9	NP	72
3		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	74.0	49.3	32.3	23.7	13.0	9.6	7.0	NP	72
4	10/02/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	77.5	49.5	32.9	19.0	13.8	7.1	7.1	NP	73
5		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	74.1	48.9	33.1	20.6	14.9	7.8	7.2	NP	73
6	12/02/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	74.1	50.1	34.2	21.2	12.8	8.3	7.2	NP	72
7		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	75.1	49.9	31.3	20.4	14.3	7.9	8.2	NP	73
8	17/02/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	74.2	49.2	31.5	19.7	13.7	9.2	6.2	NP	73
9		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	75.0	45.2	28.5	20.1	12.3	7.4	6.9	NP	72
10	18/02/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	79.9	45.1	28.9	19.2	12.1	8.4	7.2	NP	73
11	22/02/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	84.0	45.8	33.2	19.1	13.2	9.5	6.8	NP	71
12		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	85.0	46.1	32.6	20.4	14.1	10.4	7.1	NP	72
13		M3	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	76.2	51.2	29.3	19.3	12.3	10.3	7.1	NP	72
14	27/02/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	88.7	46.7	30.9	21.3	14.2	9.1	6.3	NP	72
15		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	76.2	46.5	31.4	20.1	12.8	9.8	6.9	NP	73
16	03/03/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	89.7	47.1	30.1	21.1	12.8	9.1	8.7	NP	72
17		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	76.0	46.3	29.1	22.7	13.7	9.3	8.1	NP	72
18	07/03/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	81.6	46.2	33.7	20.5	14.3	9.1	9.8	NP	71
19		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	80.0	45.4	31.2	24.7	14.9	9.7	7.5	NP	71
20	12/03/19	M1	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	79.9	46.1	30.5	22.4	13.4	9.8	6.8	NP	72
21		M2	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	78.0	46.1	32.1	22.1	15.1	9.1	7.2	NP	72
22		M3	RÍO MANTARO	156+000	DER.	100.0	78.0	46.7	29.7	20.1	14.6	9.7	6.4	NP	71
n						22	21	22	22	22	22	22	22	0	22
Σ						2,200.0	1,655.8	1,049.3	685.4	460.5	297.5	200.8	159.4	NP	1,586.0
Especificación		Min.				100	70	45	28	19	12	7	5	NP	Min. 60%
		Máx.				100	90	70	50	34	25	18	15		
Xp						100.0	78.8	47.7	31.2	20.9	13.5	9.1	7.2	NP	72
MIN						100.0	74.0	45.1	28.5	19.0	12.1	7.1	6.2	NP	71
MAX						100.0	89.7	52.4	34.2	24.7	15.1	10.4	9.8	NP	73
DESV. ESTÁNDAR						0.0	4.7	2.1	1.7	1.5	0.9	0.9	0.8	NP	1
VARIANZA						0.0	22.4	4.5	2.9	2.2	0.9	0.9	0.7	NP	0
COEF. VARIACIÓN						0.0	6.0	4.5	5.5	7.1	6.9	10.2	11.3	NP	1
CONDICIÓN						CUMPLE								CUMPLE	CUMPLE

Anexo 9. Grupo de Proceso de Trituración-Muestra C

RESUMEN DE ARENA CHANCADA PARA MICROPAVIMENTO - CANTERA CENTRO KM.: 46+700 LADO DERECHO															
ITEM	FECHA	MUESTRA	CANTERA	UBICACIÓN KM.:	LADO	% QUE PASA								IP < MALLA Nº 40 (%)	EQ. ARENA (%)
						3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200		
1	01/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	78.1	49.6	34.5	19.3	13.8	9.2	9.7	NP	72
2	02/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	78.9	48.6	28.2	20.6	13.4	7.1	5.1	NP	72
3		M2	CENTRO	46+700	DER.	100.0	79.0	49.4	32.7	22.1	12.1	7.2	10.2	NP	72
4	03/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	78.5	49.3	28.7	23.9	14.6	10.3	6.4	NP	73
5		M2	CENTRO	46+700	DER.	100.0	79.4	46.7	33.9	23.1	13.3	12.5	6.1	NP	73
6	04/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	77.1	46.2	34.7	20.7	14.4	8.6	5.2	NP	72
7		M2	CENTRO	46+700	DER.	100.0	79.1	47.0	30.4	23.7	12.7	13.3	10.3	NP	73
8	05/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	79.5	48.2	32.6	20.6	12.3	8.4	6.7	NP	73
9		M2	CENTRO	46+700	DER.	100.0	78.4	46.3	30.5	19.0	12.0	7.4	6.1	NP	72
10	06/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	78.8	45.7	28.5	19.3	12.1	11.1	7.2	NP	73
11	07/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	77.8	45.5	28.9	21.6	12.4	7.8	8.1	NP	71
12		M2	CENTRO	46+700	DER.	100.0	75.5	45.4	30.1	20.6	14.8	10.1	7.5	NP	72
13		M3	CENTRO	46+700	DER.	100.0	78.2	53.4	29.7	22.7	13.5	7.1	8.7	NP	72
14	08/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	78.1	46.6	29.6	19.0	15.2	8.0	6.1	NP	72
15		M2	CENTRO	46+700	DER.	100.0	77.0	46.2	31.2	19.5	14.1	10.1	7.2	NP	73
16	09/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	76.7	47.4	30.5	19.0	14.2	9.1	7.7	NP	72
17		M2	CENTRO	46+700	DER.	100.0	85.2	49.2	29.1	19.5	15.2	8.5	7.2	NP	72
18	10/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	79.1	45.9	38.4	20.2	12.0	9.1	6.1	NP	71
19		M2	CENTRO	46+700	DER.	100.0	78.6	47.7	31.2	21.1	15.6	8.6	7.8	NP	71
20	11/06/17	M1	CENTRO	46+700	DER.	100.0	82.3	49.2	34.6	22.4	13.0	8.3	6.5	NP	72
21		M2	CENTRO	46+700	DER.	100.0	79.2	48.1	29.1	20.7	12.5	9.3	7.2	NP	72
22		M3	CENTRO	46+700	DER.	100.0	78.0	47.8	30.1	21.6	14.8	9.1	5.1	NP	71
n						22	22	22	22	22	22	22	22	0	22
Σ						2,200.0	1,732.5	1,049.4	687.2	460.2	298.0	200.2	158.2	NP	1,586.0
Especificación		Min.				100	70	45	28	19	12	7	5	NP	Min. 60%
		Máx.				100	90	70	50	34	25	18	15		
Xp						100.0	78.8	47.7	31.2	20.9	13.5	9.1	7.2	NP	72
MIN						100.0	75.5	45.4	28.2	19.0	12.0	7.1	5.1	NP	71
MAX						100.0	85.2	53.4	38.4	23.9	15.6	13.3	10.3	NP	73
DESV. ESTÁNDAR						0.0	1.9	1.9	2.6	1.5	1.2	1.6	1.5	NP	1
VARIANZA						0.0	3.8	3.5	6.8	2.4	1.4	2.7	2.3	NP	0
COEF. VARIACIÓN						0.0	2.5	3.9	8.4	7.4	8.7	18.0	20.9	NP	1
CONDICIÓN						CUMPLE								CUMPLE	CUMPLE