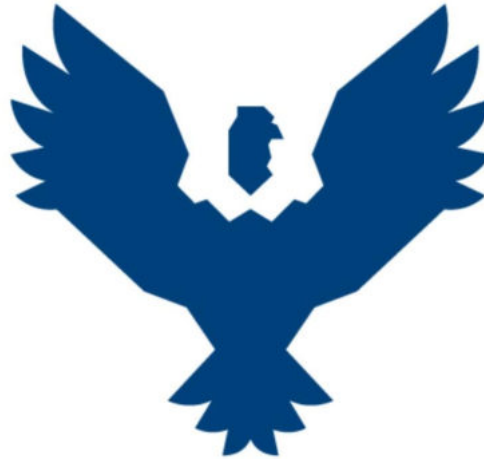




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL,
DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE
MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO
RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN

Presentado por

Bach. Fabian Aguilar Esquivel

Bach. Jordy Juan Ascencio Abarca

Para optar al Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor

Ing. Heber Darwin Gutierrez Vallejo

CUSCO – PERÚ

2022



Dedicatorias

A mis padres, Yovana y Edwin, quienes con sus consejos de vida, cariño y motivación me enseñaron a persistir en mis objetivos.

A mi hermana Kiara por sus consejos y apoyo en mi formación académica y en mi vida.

A mis abuelos, Papá Vico, Mamá Gloria y Mamá Hipólita, quienes me muestran día a día su apoyo incondicional y su confianza en mí, y a mi abuelo Papá Pancho que siempre estuvo motivándome, mostrándome su apoyo, esperando que se encuentre orgulloso de mí.

A mi familia y mis mejores amigos, por sus consejos y apoyo en los momentos vividos.

FABIAN AGUILAR ESQUIVEL



Ante todo, dedico esta tesis a Dios por guiarme en el sendero de la vida.

*A mi mamá Gina por demostrar esa entrega, seguridad y fuerza que me ayudo a seguir de pie
ante las dificultades.*

*A mi hermano André quien a pesar de las dificultades que atravesó, me demostró el camino
correcto a seguir.*

*En memoria de mi padre Juan quien, aunque no logre conocer, siento su ayuda en cada
momento difícil.*

*Aquella persona muy especial que me acompañó durante mi etapa universitaria por su amor
y comprensión.*

*A mis familiares y amigos, quienes me apoyaron con sus consejos y apoyo en todo el
camino universitario.*

JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA



Agradecimientos

*A mis padres, Yovana y Edwin, y mi hermana, Kiara, por su apoyo, motivación y confianza a
durante el desarrollo de la presente tesis.*

*A nuestro asesor el Ing. Heber Darwin Gutierrez Vallejo, por su paciencia y apoyo
profesional en una coyuntura difícil.*

*A las empresas LABSUELOS S.A.C., INGEOMAT E.I.R.L., y TDM INGENIERIA S.A.C. por
el apoyado en tiempos difíciles.*

*A la Universidad Andina del Cusco por el uso del laboratorio de suelos, concreto y
pavimentos.*

FABIAN AGUILAR ESQUIVEL



A Dios por iluminar mi vida con mi familia y amigos.

A mi mamá Gina y mi hermano André, por estar siempre presentes en mi vida.

Un agradecimiento especial al Ing. Heber Darwin Gutierrez Vallejo, por ser nuestro asesor en una circunstancia tan adversa, y por apoyarnos con la elaboración de la tesis con paciencia y comprensión.

A las empresas LABSUELOS S.A.C., INGEOMAT E.I.R.L. Y TDM INGENIERIA S.A.C. por abrirnos las puertas, cuando más se cerraron.

Al laboratorio de suelos, concreto y pavimentos de la Universidad Andina del Cusco, en especial al personal por su apoyo en las pruebas realizadas.

JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA



Resumen

El Stone Mastic Asphalt S.M.A. es una mezcla bituminosa en caliente que presenta una gradación discontinua, la cual se fundamenta en dos fragmentos: en el primero su estructura granular está formada por el contacto de piedra con piedra y en el segundo fragmento se compone por una mezcla sustanciosa en asfalto, dada su granulometría requiere mayor cantidad de asfalto (6.5% min.), generando escurrimiento en las mezclas bituminosas S.M.A., por lo que indispensable la inclusión de un agente estabilizante para evitar este fenómeno. Por consiguiente, la presente tesis plantea la incorporación del Grano de Caucho Reciclado (GCR) como sustituto parcial del agregado grueso en una mezcla S.M.A. para comprobar su comportamiento respecto a una mezcla asfáltica S.M.A Patrón en cuanto a su desempeño físico-mecánico y costos. En relación con las Mezclas Asfálticas se ha empleado el mismo cemento asfáltico, agente estabilizante (fibra celulosa de papel bond), los mismos agregados, variando solo un porcentaje del agregado grueso, asimismo se llevaron a cabo las pruebas respectivas para verificar la calidad de agregados, se optó por una gradación en base a un TMN del agregado, eligiendo 3 combinaciones granulométricas (Gradación “A”, Gradación “B” y Gradación “C”) que obedezcan los límites granulométricos, posteriormente se seleccionó la gradación que cumplía los requerimientos mínimos para %Va, %VMA y $VCA_{Mezcla} < VCA_{DRC}$, continuando con la elección de contenido de asfalto óptimo (6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5%) con el fin de que la mezcla obedezca el requerimiento de contenido de vacíos, para que la mezcla cumpla los requerimientos de porcentaje de vacíos, así como se agregó el agente estabilizante (fibra celulosa de papel bond) al 0.3% para evitar el fenómeno de escurrimiento en el asfalto. Posteriormente se sustituyó el agregado grueso de forma parcial por el Grano de Caucho Reciclado (5%, 10%, 15%, 20%) cumpliendo los requerimientos mínimos de los parámetros volumétricos. Definida la combinación granulométrica óptima, contenido de ligante Óptimo, contenido de GCR Óptimo, se continúa con la preparación de especímenes asfálticos para luego determinar el desempeño de sus propiedades físico-mecánicas, mediante pruebas de estabilidad, daño inducido por humedad, deformación permanente y costos, para validar el uso Grano de Caucho Reciclado (GCR) en mezclas S.M.A.

Palabras clave: S.M.A., Grano de Caucho Reciclado, Asfalto, Fibra de Celulosa de Papel Bond, % de Vacíos, Estabilidad, Daño Inducido por Humedad, Costos, Deformación Permanente.



Abstract

Stone Mastic Asphalt (S.M.A.) is a hot asphalt mixture that presents a discontinuous gradation, which is based on two fragments: first its granular structure is formed by the contact of stone with stone and the second fragment it is composed of a substantial mixture in asphalt, given its granulometry, requires a greater quantity of asphalt (6.5% min.), generating draindown in the S.M.A. asphalt mixtures, for which a stabilizing agent is necessary to avoid this phenomenon. Therefore, present thesis proposes the incorporation of Recycled Rubber Grain (GCR) as a partial substitute for coarse aggregate in a S.M.A. to verify its behavior with respect to a S.M.A. Standard Asphaltic Mix in terms of its physical-mechanical performance and costs. In relation to Asphalt Mixtures, same asphalt cement, stabilizing agent (cellulose fiber of bond paper), same aggregates have been used, varying only a percentage of coarse aggregate, the quality control of aggregates was also carried out, it was decided gradation based on a TMN, choosing 3 granulometric combinations (Gradation "A", Gradation "B" and Gradation "C") that obey the granulometric limits, then choose the gradation that met the minimum requirements for %Va, %VMA and $VCA_{Mixture} < VCA_{DRC}$, later chose gradation that met minimum requirements for %Va, %VMA and $VCAMixcla < VCADRC$, continuing with choice of optimal asphalt content (6.0%, 6.5%, 7.0% and 7.5%) in order for mix to obey the void content requirement, for mix to meet the void percentage requirements, as well as the stabilizing agent was added (cellulose fiber of bond paper) at 0.3 % to avoid the phenomenon of draindown on the asphalt. Subsequently coarse aggregate was partially replaced by Recycled Rubber Grain (5%, 10%, 15%, 20%) fulfilling the minimum requirements of the volumetric parameters. Once Optimal Gradation, Optimal Asphalt content, Optimal GCR content is defined, preparation of asphalt specimens continues to later determine performance of physical-mechanical properties through stability tests, moisture-induced damage, permanent deformation and costs, to validate use of Recycled Rubber Grain (GCR) in S.M.A. mixtures.

Keywords: SMA, Recycled Rubber Grain, Asphalt, Bond Paper Cellulose Fiber, % Voids, Stability, Moisture Induced Damage, Costs, Permanent Deformation.



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Fabian Aguilar Esquivel
Título del ejercicio: TESIS UAC JORDY FABIAN
Título de la entrega: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFO...
Nombre del archivo: TESIS_FINALIZADA_-_FABIAN_-_JORDY.pdf
Tamaño del archivo: 25.51M
Total páginas: 346
Total de palabras: 65,016
Total de caracteres: 342,522
Fecha de entrega: 29-nov.-2022 10:22a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 1966278125

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL,
DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE
MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO
RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN

Presentado por

Bach. Fabian Aguilar Esquivel

Bach. Jordy Juan Ascencio Abarca

Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil

Asesor

Ing. Heber Darwin Gutierrez Vallejo

CUSCO – PERÚ

2022

Derechos de autor 2022 Turnitin. Todos los derechos reservados.

DNI. 23921471



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

¹ FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL,
DEFORMACIÓN PERMANENTE² Y COSTOS DE MEZCLAS STONE
MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO
RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN

Presentado por

Bach. Fabian Aguilar Esquivel

Bach. Jordy Juan Ascencio Abarca

¹ Para optar al Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor

Ing. Heber Darwin Gutierrez Vallejo

CUSCO – PERÚ

2022

DNI 23921471



ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

1%

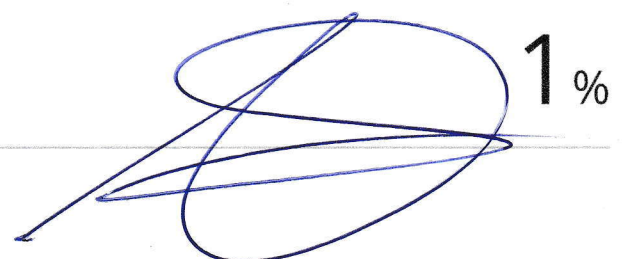
PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	6%
2	repositorio.uptc.edu.co Fuente de Internet	2%
3	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	pt.scribd.com Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
8	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%





Introducción

En las últimas décadas dentro del territorio nacional se ha favorecido la ejecución de proyectos de obras viales que tienen la intención de contribuir al crecimiento económico e intercambio comercial de las diferentes regiones del país, generando así una necesidad de mejores carreteras que cumplan una adecuada transitabilidad, vida útil más duradera y costos de mantenimiento bajos, todo esto implementando mejores tecnologías en los pavimentos asfálticos.

Así también dentro de nuestra realidad se ha buscado el progreso en base a diferentes proyectos de carreteras que buscan el desarrollo de la región, que han sido construidos con pavimentos asfálticos convencionales, brindando resultados que no logran coadyuvar las demandas y menesteres de la población.

La posible solución a estas necesidades radicaría en la correcta aplicación de la nueva tecnología que permitiría solucionar los problemas que generan el tránsito pesado, climas fríos además de tener un costo de mantenimiento menor que brindarían una vida útil mayor a la esperada, el Stone Mastic Asphalt (S.M.A.) es una tecnología que se viene empleando hace más de 30 años, el cual busca disminuir las deformaciones permanentes realizadas por alto tráfico vehicular, esta técnica ha sido utilizada en Estados Unidos para la construcción de autopistas, actualmente este tipo de mezcla se ha ido implementando en Argentina y Brasil.

Estos resultados se deben a la estructura granular gruesa y a la masilla de ligante, filler y fibra de la mezcla S.M.A., predominando la fricción entre las partículas gruesas, de forma que las cargas transmitidas son soportadas por el agregado grueso. Así como tiene cualidades presenta debilidades como el escurrimiento del ligante asfáltico, pero este se logra evitar gracias al agente estabilizante que rigidiza el mastic de la mezcla.

Al ver que el ahuellamiento es una problemática de nuestros pavimentos asfálticos, se propone utilizar el Grano de Caucho Reciclado en la producción de mezclas S.M.A., ya que la base de su estructura se encuentre en el agregado grueso, buscando resultados parecidos al ensayar las mezclas S.M.A. convencionales.



Índice General

Dedicatorias	i
Agradecimientos	iii
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	vii
Capítulo I: Planteamiento del Problema	1
1.1. Identificación del problema	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Formulación interrogativa del problema.....	2
1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.....	2
1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.....	2
1.3. Justificación e importancia de la investigación	3
1.3.1. Justificación técnica.....	3
1.3.2. Justificación socio - ambiental.....	3
1.3.3. Justificación por viabilidad.....	3
1.3.4. Justificación por relevancia.....	3
1.4. Limitaciones de la investigación.....	3
1.4.1. Limitación de materiales.....	3
1.4.2. Limitaciones de diseño.....	4
1.4.3. Limitación de normativa.....	5
1.4.4. Limitación de equipo.....	5
1.5. Objetivo de la investigación.....	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
Capítulo II: Marco Teórico	7
2.1. Antecedentes de la tesis o investigación.....	7
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.....	7
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.....	8
2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes.....	10
2.2.1. Definiciones.....	10
2.2.2. Método.....	31
2.2.3. Procedimientos.....	34



2.3.	Hipótesis	48
2.3.1.	Hipótesis general.....	48
2.3.2.	Sub hipótesis.....	48
2.4.	Definición de variables	49
2.4.1.	Variables independientes.....	49
2.4.2.	Variables dependientes.....	49
2.4.3.	Cuadro de operacionalización de variables.....	50
Capítulo III: Metodología		52
3.1.	Metodología de la Investigación.....	52
3.1.1.	Enfoque de la investigación.....	52
3.1.2.	Nivel o alcance de la investigación.....	52
3.1.3.	Método de investigación.....	53
3.2.	Diseño de la Investigación.....	53
3.2.1.	Diseño metodológico.....	53
3.2.2.	Diseño de ingeniería.....	54
3.3.	Población y Muestra.....	55
3.3.1.	Población.....	55
3.3.2.	Muestra.....	55
3.3.3.	Criterios de inclusión.....	57
3.4.	Instrumentos.....	59
3.4.1.	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.....	59
3.4.2.	Instrumentos de ingeniería.....	81
3.5.	Procedimiento de Recolección de Datos.....	88
3.5.1.	Recolección de datos realizada de la cantera de agregado de Vicho – cantera de agregado Cunyac.....	88
3.5.2.	Elaboración de fibra celulosa elaborada de papel bond.....	89
3.5.3.	Obtención del grano de caucho reciclado.....	91
3.5.4.	Ensayo de granulometría – MTC E 204.....	92
3.5.5.	Ensayo de abrasión los ángeles - MTC E 207.....	100
3.5.6.	Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados gruesos - MTC E 221.....	102
3.5.7.	Ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso – MTC E 210.....	106
3.5.8.	Ensayo de durabilidad del agregado grueso al sulfato de magnesio - MTC E 209.....	109



3.5.9.	Ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos – MTC E 206..	112
3.5.10.	Ensayo de peso unitario de los agregados gruesos – MTC E 203.....	116
3.5.11.	Ensayo de límites de consistencia – MTC E 110.....	118
3.5.12.	Ensayo de azul de metileno - AASTHO TP 57.....	122
3.5.13.	Ensayo equivalente de arena – MTC E 114.....	125
3.5.14.	Ensayo de angularidad de finos – MTC E 222.....	130
3.5.15.	Ensayo de durabilidad del agregado fino al sulfato de magnesio – MTC E 209.....	131
3.5.16.	Ensayo de peso específico y absorción de agregados finos – MTC E 205..	134
3.5.17.	Ensayo de adherencia – MTC E 517.....	137
3.5.18.	Ensayo de índice de durabilidad – MTC E 214.....	139
3.5.19.	Sales solubles totales – MTC E 219.....	143
3.5.20.	Preparación de especímenes asfálticos S.M.A. compactados - ASTM D 6926.....	147
3.5.21.	Ensayo de gravedad específica bulk para parámetros volumétricos del diseño para S.M.A. (gradación óptima y % de asfalto óptimo) – AASHTO T 166.....	151
3.5.22.	Ensayo de escurrimiento – ASTM D 6390.....	154
3.5.23.	Ensayo de gravedad específica bulk para parámetros volumétricos de mezclas asfálticas S.M.A. con grano de caucho reciclado - AASHTO T 166.....	159
3.5.24.	Ensayo de estabilidad y flujo Marshall – MTC E 504.....	163
3.5.25.	Ensayo de resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad – MTC E 522.....	167
3.5.26.	Ensayo de la rueda cargada de Hamburgo – AASHTO T 324.....	176
3.6.	Procedimiento de Análisis de Datos.....	181
3.6.1.	Ensayo de los componentes de la mezcla.....	181
3.6.2.	Diseño de mezclas asfálticas S.M.A.....	204
3.6.3.	Ensayo para determinar propiedades físico-mecánicas.....	222
3.6.4.	Análisis de Costos de Mezclas Asfálticas S.M.A. Patrón - S.M.A. Con GCR.....	236
Capítulo IV: Resultados		240
4.1.	Control de Calidad de los Componentes de la Mezcla.....	240
4.1.1.	Control de calidad de agregado grueso.....	240
4.1.2.	Control de calidad de agregado fino.....	246
4.2.	Control de Calidad de las Mezclas Asfálticas S.M.A.....	252
4.2.1.	Diseño S.M.A.....	252



4.2.2. Propiedades físico – mecánicas	255
4.3. Análisis de Costos de Mezclas Asfálticas S.M.A. Patrón - S.M.A. Con GCR.....	264
Capítulo V: Discusión	267
Glosario.....	270
Conclusiones	274
Recomendaciones	277
Referencias.....	279
Anexos	284



Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de Ubicación Geográfica de Canteras Cunyac y Vicho	4
Figura 2 Esquema Típico de un Pavimento Flexible	10
Figura 3 Espécimen Elaborado con Cemento Asfáltico	14
Figura 4 Mapa de distribución de PG de Ligante Asfáltico en el Perú	15
Figura 5 Representación Gráfica de la Diferencia entre S.M.A. y HMA	23
Figura 6 Grano de Caucho Reciclado	26
Figura 7 Diagrama de Flujo de Reciclaje de Llantas	27
Figura 8 Gráfica Esquemática Deformación-Pasadas (Ciclos) por Susceptibilidad a la Humedad	30
Figura 9 Dimensiones de moldes de polietileno de alta densidad	33
Figura 10 Espesores Mínimos Recomendados de Capa de Acuerdo con el Tipo de Mezcla Asfáltica Relacionado al TMN del Árido	41
Figura 11 Espesores Mínimos Recomendados relacionado al TMN del Árido para Mezclas S.M.A.	41
Figura 12 Canasta de abertura de ¼”	46
Figura 13 Disposición de Muestra en Horno	46
Figura 14 Escurrimiento de Mezcla sin Fibras, a 158° C	47
Figura 15 Escurrimiento de Mezcla con 0.3% de Fibra, a 158° C	47
Figura 16 Diseño de Ingeniería	54
Figura 17 Recolección de Áridos de la Cantera de Vicho y Cunyac	88
Figura 18 Procedimiento de Elaboración de Fibra Celulosa Elaborada de Papel Bond	90
Figura 19 <i>Procedimiento de Granulación de Planchas de Caucho Reciclado – Parte I</i>	91
Figura 20 <i>Procedimiento de Granulación de Planchas de Caucho Reciclado – Parte II</i>	92
Figura 21 Cuarteo de los Áridos - Ensayo de Análisis Granulométrico	93
Figura 22 Tamizado de los Áridos - Ensayo de Análisis Granulométrico	93
Figura 23 Separación de Material en Bowls Retenido en Cada Tamiz - Ensayo de Análisis Granulométrico	94
Figura 24 Granulometría Pesado de Tamices con Material Retenido - Ensayo de Análisis Granulométrico	94
Figura 25 Lavado, Secado y Tamizado del Material - Ensayo de Abrasión los Ángeles	100
Figura 26 Colocación de Muestra y Billas en la Máquina de los Ángeles - Ensayo de Abrasión los Ángeles	101
Figura 27 Descargado de Material de la Máquina de los Ángeles - Ensayo de Abrasión los Ángeles	101
Figura 28 Cernido, Lavado, Secado y Registro de Peso de Residuo - Ensayo de Abrasión los Ángeles	101
Figura 29 Cernido y Separación del Material - Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas ..	103
Figura 30 Calibrador de Espesores para Formas Achatadas - Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas	103
Figura 31 Calibrador de Longitudes para Formas Alargadas - Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas	104
Figura 32 Lavado de Material – Ensayo de Caras Fracturadas	106



Figura 33 Colocación de Muestras Sobre Superficie – Ensayo de Caras Fracturadas	107
Figura 34 Identificación de Partículas – Ensayo de Caras Fracturadas.....	107
Figura 35 Muestras en Solución de Sulfato de Magnesio - Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).....	110
Figura 36 Muestras en Solución de Sulfato de Magnesio - Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).....	110
Figura 37 Secado del Material en Horno - Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	111
Figura 38 Tamizado y Lavado de Muestras - Ensayo de Peso Específico y Absorción.....	113
Figura 39 Inmersión de Material en Agua - Ensayo de Peso Específico y Absorción.....	113
Figura 40 Pesaje Sumergido - Ensayo de Peso Específico y Absorción	114
Figura 41 Separado de Material por Combinaciones Granulométricas - Ensayo de Peso Unitario	116
Figura 42 Peso Unitario Suelto - Ensayo de Peso Unitario	117
Figura 43 Peso Unitario Compactado - Ensayo de Peso Unitario	117
Figura 44 Tamizado de Muestras - Ensayo de Límites de Consistencia	119
Figura 45 Mezclado de Muestra y Colocada en Copa Casagrande - Ensayo de Índice de Plasticidad.....	119
Figura 46 Ranurado del Material en la Copa - Ensayo de Índice de Plasticidad.....	120
Figura 47 Determinación de Índice de Plasticidad - Ensayo de Índice de Plasticidad.....	121
Figura 48 Tamizado de Muestra - Ensayo de Azul de Metileno	122
Figura 49 Lechada de Muestra y Agua Destilada - Ensayo de Azul de Metileno	123
Figura 50 Combinación de Muestra con Solución de Azul de Metileno - Ensayo de Azul de Metileno	123
Figura 51 Aureola Azul - Ensayo de Azul de Metileno	124
Figura 52 Verificación de Aureola Azul - Ensayo de Azul de Metileno.....	124
Figura 53 Tamizado de Muestra - Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena...	126
Figura 54 Proceso de Sifonear - Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena	127
Figura 55 Proceso de Irrigación - Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena ...	128
Figura 56 Proceso de In Disturbado - Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena	128
Figura 57 Lectura de Arena - Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena.....	129
Figura 58 Vertido de la Muestra - Ensayo de Angularidad	130
Figura 59 Muestras en Solución de Sulfato de Magnesio - Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).....	132
Figura 60 Secado del Material en Horno - Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	133
Figura 61 Frasco Volumétrico de 500 cm ³ - Ensayo de Gravedad Específica y Absorción.	135
Figura 62 Muestra en Horno - Ensayo de Gravedad Específica y Absorción	135
Figura 63 Fiola más Material y Agua - Ensayo de Gravedad Específica y Absorción	136
Figura 64 Preparación del Material - Ensayo de Adherencia	137
Figura 65 Calentado de Asfalto y Revestimiento de Agregado - Ensayo de Adherencia	138
Figura 66 Estimación de Área Revestida - Ensayo de Adherencia	138



Figura 67 Preparación de Cilindro Plástico y Agua Destilada - Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad.....	140
Figura 68 Tamizado y Agitado de Material - Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad	141
Figura 69 Lectura de Sedimentación - Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad	141
Figura 70 Secado de Muestra - Sales Solubles Totales	144
Figura 71 Preparación de Reactivos - Sales Solubles Totales	145
Figura 72 Masa B - Sales Solubles Totales	145
Figura 73 Cristalización de Muestra - Sales Solubles Totales.....	146
Figura 74 Preparación y Pesado de Agregados - Preparación de Especímenes Asfálticos S.M.A. Compactados	148
Figura 75 Calentado de Asfalto - Elaboración de Probetas Asfálticas S.M.A. Compactadas	149
Figura 76 Preparación de Mezcla - Elaboración de Probetas Asfálticas S.M.A. Compactadas	149
Figura 77 Colocado de Mezcla - Elaboración de Probetas Asfálticas S.M.A. Compactadas	150
Figura 78 Compactado de Mezcla - Elaboración de Probetas Asfálticas S.M.A. Compactadas	150
Figura 79 Extracción de Espécimen - Elaboración de Probetas Asfálticas S.M.A. Compactadas	151
Figura 80 Pesado a Temperatura Ambiente - Ensayo de Gravedad Específica Bulk para Diseño del S.M.A. (Combinación Granulométrica Óptima y % de Ligante Óptimo).....	152
Figura 81 Peso Sumergido - Ensayo de Gravedad Específica Bulk para Diseño del S.M.A. (Combinación Granulométrica Óptima y % de Ligante Óptimo).....	152
Figura 82 Peso Superficialmente Seco - Ensayo de Gravedad Específica Bulk para Diseño del S.M.A. (Combinación Granulométrica Óptima y % de Ligante Óptimo)	153
Figura 83 Canastillas de Ecurrimiento - Ensayo de Ecurrimiento	155
Figura 84 Pesado de Canastilla y Calentado de Agregados - Ensayo de Ecurrimiento	156
Figura 85 Mezclado de Agregados y Asfalto - Ensayo de Ecurrimiento.....	157
Figura 86 Pesado de Canastilla con Mezcla - Ensayo de Ecurrimiento.....	157
Figura 87 Colocado de Canastilla en Horno - Ensayo de Ecurrimiento	158
Figura 88 Toma de Peso después del Horno - Ensayo de Ecurrimiento	158
Figura 89 Preparación de Mezclas con y sin GCR - Ensayo de Gravedad Específica Bulk (% de GCR Óptimo).....	160
Figura 90 Pesado a Temperatura Ambiente - Ensayo de Gravedad Específica Bulk (% de GCR Óptimo).....	161
Figura 91 Peso Sumergido - Ensayo de Gravedad Específica Bulk (% de GCR Óptimo)...	161
Figura 92 Peso Superficialmente Seco - Ensayo de Gravedad Específica Bulk (% de GCR Óptimo).....	162
Figura 93 Preparación de Mezclas sin y con GCR - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall	164
Figura 94 Medición de Altura y Diámetro de Probetas - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall	165
Figura 95 Baño María a 60 °C - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall	165



Figura 96 Colocado de Cabezal - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall	166
Figura 97 Colocado de Probetas - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall.....	166
Figura 98 Preparado de Mezclas sin y con GCR - Ensayo de Daño Inducido por Humedad	169
Figura 99 Agrupamiento de Especímenes - Ensayo de Daño Inducido por Humedad.....	170
Figura 100 Embolsado y Baño María de Sub Grupo Seco - Ensayo de Daño Inducido por Humedad.....	171
Figura 101 Rotura de Especímenes Sub Grupo Seco - Ensayo de Daño Inducido por Humedad.....	171
Figura 102 Embolsado de Especímenes Sub Grupo Húmedo - Ensayo de Daño Inducido por Humedad.....	172
Figura 103 Refrigeración de Especímenes Sub Grupo Húmedo - Ensayo de Daño Inducido por Humedad.....	173
Figura 104 Baño María Sub Grupo Húmedo - Ensayo de Daño Inducido por Humedad	173
Figura 105 Desembolsado y Baño María Sub Grupo Húmedo - Ensayo de Daño Inducido por Humedad.....	174
Figura 106 Rotura de Especímenes Sub Grupo Húmedo - Ensayo de Daño Inducido por Humedad.....	175
Figura 107 Cortado de Especímenes de 6" de Diámetro - Sin y Con GCR.....	177
Figura 108 Determinación de Gravedad Específica Bruta del Espécimen - Sin y Con GCR	177
Figura 109 Colocado de Muestras en Moldes y Bandejas de Montaje.....	178
Figura 110 Encendido y Configuración de la Rueda Cargada de Hamburgo.....	178
Figura 111 Preacondicionamiento de Especímenes en la Rueda Cargada de Hamburgo	179
Figura 112 Esquema al iniciar el ensayo	179
Figura 113 Deformación Permanente en Muestras - Sin y Con GCR.....	180
Figura 114 Esquema al alcanzar la profundidad de rodera máxima.....	180
Figura 115 Resultado del Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).....	241
Figura 116 Resultado del Ensayo de Abrasión Los Ángeles.....	241
Figura 117 Resultado del Ensayo de Adherencia	242
Figura 118 Resultado del Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad.....	243
Figura 119 Resultado del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas.....	243
Figura 120 Resultado del Ensayo de Caras Fracturadas.....	244
Figura 121 Resultado del Ensayo de Sales Solubles Totales.....	245
Figura 122 Resultado de Ensayo de Absorción	245
Figura 123 Resultado del Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena	247
Figura 124 Resultado del Ensayo de Angularidad.....	247
Figura 125 Resultado del Ensayo de Azul de Metileno.....	248
Figura 126 Resultado del Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).....	249
Figura 127 Resultado del Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad.....	249
Figura 128 Resultado del Ensayo de Sales Solubles Totales.....	250
Figura 129 Resultado del Ensayo de Absorción.....	251
Figura 130 Curva de la Combinación Granulométrica Óptima.....	252
Figura 131 % de Vacíos en Función del % de Ligante en Mezcla	253



Figura 132 % de Vacíos en el Agregado Mineral en Función del % de Ligante en Mezcla	254
Figura 133 % de Vacíos de Agregado Grueso en Mezcla en Función del % de Ligante en Mezcla.....	254
Figura 134 Escurrimiento de Muestras S.M.A. Con y Sin Fibra Celulosa PB - 165°C	255
Figura 135 Escurrimiento de Muestras S.M.A. Con y Sin Fibra Celulosa PB - 175°C	256
Figura 136 % Va de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón	257
Figura 137 % VMA de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón.....	257
Figura 138 % VCA de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón	258
Figura 139 Estabilidad Marshall de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón	259
Figura 140 Flujo Marshall de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón.....	260
Figura 141 Razón del Esfuerzo a Tensión (TSR) de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón	261
Figura 142 Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón	263
Figura 143 Análisis Comparativo de Costos Unitarios de Mezclas Asfálticas S.M.A. Patrón - S.M.A. Con GCR	266



Índice de Tablas

Tabla 1 Porcentaje de llantas en desuso destinadas a reciclaje en el año 2016	2
Tabla 2 Ubicación Geográfica de Canteras Cunyac y Vicho.....	4
Tabla 3 Cementos asfálticos "Superpave" Petroperú - Refinería Conchan	16
Tabla 4 Causas y Consecuencias de Inestabilidad.....	18
Tabla 5 Causas y Consecuencias de una Baja Durabilidad	19
Tabla 6 Causas y Consecuencias de la Permeabilidad.....	19
Tabla 7 Causas y Consecuencias de Dificultades en la Trabajabilidad	20
Tabla 8 Causas y Consecuencias de una Baja Resistencia a la Fatiga.....	20
Tabla 9 Causas y Consecuencias de una Baja Resistencia al Deslizamiento	21
Tabla 10 Materiales para Mezclas S.M.A.....	24
Tabla 11 Composición y Características de los Diferentes Tipos de Neumáticos.....	28
Tabla 12 Características del Grano de Caucho Reciclado	28
Tabla 13 Requisitos Mínimos para el Diseño de Mezclas S.M.A.	36
Tabla 14 Especificaciones de Mezclas asfálticas S.M.A. para Diseño Marshall NAPA 2002	36
Tabla 15 Especificaciones de Mezclas asfálticas S.M.A. para Diseño con Compactador Giratorio Superpave AASHTO MP8 Y NAPA 2002	37
Tabla 16 Requerimientos Mínimos para Agregado Grueso S.M.A.....	37
Tabla 17 Especificaciones Mínimas de Calidad para Agregado Grueso S.M.A.	38
Tabla 18 Requerimientos Mínimos para Agregado Fino S.M.A	38
Tabla 19 Especificaciones Mínimas de Calidad para Agregado Fino S.M.A.....	39
Tabla 20 Límites Granulométricos de S.M.A. de acuerdo al TMN (% Pasantes por Tamiz) 40	
Tabla 21 Aplicaciones en Capas de Pavimento de Mezclas S.M.A.	42
Tabla 22 Malla de Punto de Corte para distintos TMN según S.M.A.	43
Tabla 23 Proporción de Ligante en Porcentajes para Diferentes TMN	44
Tabla 24 Cuadro de Operacionalización de Variables.....	50
Tabla 25 Número de Muestras S.M.A. a Elaborar.....	56
Tabla 26 Formato de Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregados	59
Tabla 27 Formato de Ensayo de Abrasión los Ángeles	60
Tabla 28 Formato de Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas.....	61
Tabla 29 Formato de Ensayo de Caras Fracturadas.....	62
Tabla 30 Formato de Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) para Agregados Gruesos	63
Tabla 31 Formato de Ensayo Índice de Plasticidad	64
Tabla 32 Formato de Ensayo de Angularidad.....	65
Tabla 33 Formato de Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) para Agregados Finos	66
Tabla 34 Formato de Ensayo de Peso Específico y Absorción.....	67
Tabla 35 Formato de Ensayo de Gravedad Específica y Absorción.....	68
Tabla 36 Formato de Ensayo de Adherencia	69
Tabla 37 Formato de Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad del Agregado Grueso	70
Tabla 38 Formato de Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad del Agregado Fino.....	71



Tabla 39 Formato de Ensayo de Sales Solubles Totales del Agregado Grueso	72
Tabla 40 Formato de Ensayo de Sales Solubles Totales del Agregado Fino.....	73
Tabla 41 Formato de Ensayo de Peso Unitario de los Agregados	74
Tabla 42 Formato de Ensayo de Gravedad Especifica Bulk para Probetas Asfálticas Compactadas.....	75
Tabla 43 Formato de Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena	76
Tabla 44 Formato de Ensayo de Azul de Metileno.....	77
Tabla 45 Formato de Ensayo de Ecurrimiento	78
Tabla 46 Formato de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall.....	79
Tabla 47 Formato de Ensayo de Daño Inducido por Humedad.....	80
Tabla 48 Instrumentos de Ingeniería para Ensayos de Agregados Gruesos	81
Tabla 49 Instrumentos de Ingeniería para Ensayos de Agregados Finos	82
Tabla 50 Instrumentos de Ingeniería para Preparación de Mezclas Asfálticas.....	84
Tabla 51 Instrumentos de Ingeniería para Parámetros Volumétricos de Mezclas Asfálticas.....	85
Tabla 52 Instrumentos de Ingeniería para Ensayo de Ecurrimiento.....	85
Tabla 53 Instrumentos de Ingeniería para Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall.....	86
Tabla 54 Instrumentos de Ingeniería para Ensayo de Daño Inducido por Humedad	86
Tabla 55 Instrumentos para Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo.....	87
Tabla 56 Recopilación de Información del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de 3/4"	95
Tabla 57 Recopilación de Información del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de 1/2"	96
Tabla 58 Recopilación de Información del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Arena Triturada	97
Tabla 59 Recopilación de Información del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Arena de Río.....	98
Tabla 60 Recopilación de Información del Ensayo de Análisis Granulométrico del Filler ...	99
Tabla 61 Recopilación de Información del Ensayo de Abrasión Los Ángeles.....	102
Tabla 62 Recopilación de Información del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas en el Agregado Grueso de 3/4".....	105
Tabla 63 Recopilación de Información del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas en el Agregado Grueso de 1/2".....	105
Tabla 64 Recopilación de Información del Ensayo de Caras Fracturadas en el Agregado Grueso de 3/4"	108
Tabla 65 Recopilación de Información del Ensayo de Caras Fracturadas en el Agregado Grueso de 1/2"	109
Tabla 66 Recopilación de Información del Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) de Agregados Gruesos	112
Tabla 67 Recopilación de Información del Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso de 3/4".....	114
Tabla 68 Recopilación de Información del Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso de 1/2".....	115
Tabla 69 Recopilación de Información del Ensayo de Peso Específico y Absorción del GCR	115



Tabla 70 Recopilación de Información del Ensayo de Peso Unitario de los Agregados Gruesos para Gradación A, B y C.....	118
Tabla 71 Recopilación de Información del Ensayo de Índice de Plasticidad	121
Tabla 72 Recopilación de Información del Ensayo de Azul de Metileno	125
Tabla 73 Recopilación de Información del Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena.....	129
Tabla 74 Recopilación de Información del Ensayo de Angularidad	131
Tabla 75 Recopilación de Información del Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) de Agregados Finos.....	133
Tabla 76 Recopilación de Información del Ensayo de Gravedad Específica y Absorción...	136
Tabla 77 Recopilación de Información del Ensayo de Adherencia	139
Tabla 78 Gradación Preliminar - Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad	140
Tabla 79 Recopilación de Información del Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad de Agregado Grueso	142
Tabla 80 Recopilación de Información del Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad de Agregado Fino	143
Tabla 81 Cantidad y Aforo Mínimo - Sales Solubles Totales	144
Tabla 82 Recopilación de Información del Ensayo de Sales Solubles Totales para Agregado Grueso	146
Tabla 83 Recopilación de Información del Ensayo de Sales Solubles Totales para Agregado Fino	147
Tabla 84 Recopilación de Información del Ensayo de Gravedad Específica Bulk de S.M.A. – Combinación Granulométrica Óptima	153
Tabla 85 Recopilación de Información del Ensayo de Gravedad Específica Bulk de S.M.A. - % Ligante Óptimo.....	154
Tabla 86 Recopilación de Información del Ensayo de Ecurrimiento para S.M.A. con Fibra Celulosa de Papel Bond al 0.30%.....	159
Tabla 87 Recopilación de Información del Ensayo de Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas S.M.A. - Sin y Con GCR	163
Tabla 88 Recopilación de Información del Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall de Mezclas Asfálticas S.M.A. con Agente Estabilizante.....	167
Tabla 89 Recopilación de Información del Ensayo de Daño Inducido por Humedad - Sin y Con GCR.....	176
Tabla 90 Recopilación de Información del Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo - Sin y Con GCR.....	181
Tabla 91 Determinación del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de 3/4”.....	182
Tabla 92 Determinación del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de 1/2”	183
Tabla 93 Determinación del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Arena Triturada.....	184
Tabla 94 Determinación del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Arena Río.....	185
Tabla 95 Determinación del Ensayo de Análisis Granulométrico del Filler	186



Tabla 96 Combinación Granulométrica de los Agregados	187
Tabla 97 Determinación de la Abrasión Los Ángeles	188
Tabla 98 Determinación de Partículas Chatas y Alargadas en Agregado Grueso de 3/4" ...	189
Tabla 99 Determinación de Partículas Chatas y Alargadas en Agregado Grueso de 1/2" ...	189
Tabla 100 Determinación de Caras Fracturadas del Agregado Grueso de 3/4"	190
Tabla 101 Determinación de Caras Fracturadas del Agregado Grueso de 1/2"	191
Tabla 102 Determinación de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) del Agregado Grueso .	192
Tabla 103 Determinación del Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso de 3/4" ..	193
Tabla 104 Determinación del Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso de 1/2" ..	194
Tabla 105 Determinación del Peso Específico y Absorción de GCR.....	194
Tabla 106 Determinación del Índice de Plasticidad.....	195
Tabla 107 Determinación del Azul de Metileno	196
Tabla 108 Determinación del Equivalente de Arena	197
Tabla 109 Determinación de la Angularidad de Finos	198
Tabla 110 Determinación de la Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) del Agregado Fino .	199
Tabla 111 Determinación de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino	200
Tabla 112 Determinación de la Adherencia.....	201
Tabla 113 Determinación del Índice de Durabilidad del Agregado Grueso.....	202
Tabla 114 Determinación del Índice de Durabilidad del Agregado Fino	203
Tabla 115 Determinación de Sales Solubles Totales para Agregado Grueso.....	204
Tabla 116 Determinación de Sales Solubles Totales para Agregado Fino.....	204
Tabla 117 Combinación de Agregados con Gradación "A"	205
Tabla 118 Combinación de Agregados con Gradación "B"	206
Tabla 119 Combinación de Agregados con Gradación "C"	207
Tabla 120 Determinación del Peso Unitario de los Agregados Gruesos	208
Tabla 121 Determinación de los Pesos Unitarios de las Gradaciones y Gravedad Específica Bulk de la Combinación de Agregados – Elección de Combinación Granulométrica Óptima	209
Tabla 122 Determinación de los Vacíos en el Agregado Grueso en la Condición Seco Rodillado para cada Gradación – Elección de Combinación Granulométrica Óptima	210
Tabla 123 Determinación de la Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm) – Elección de Combinación Granulométrica Óptima.....	211
Tabla 124 Determinación de la Gravedad Específica Bulk - Elección de Combinación Granulométrica Óptima	212
Tabla 125 Determinación de los Vacíos y Elección de la Combinación Granulométrica Óptima.....	213
Tabla 126 Determinación de los Pesos Unitarios de las Gradaciones y Gravedad Específica Bulk de la Combinación de Agregados - Elección del Contenido Óptimo de Ligante	215
Tabla 127 Determinación de los Vacíos en el Agregado Grueso en la Condición Seco Rodillado - Elección de Contenido Óptimo de Ligante.....	216
Tabla 128 Determinación de la Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm) - Elección de Contenido Óptimo de Ligante.....	217
Tabla 129 Determinación de la Gravedad Específica Bulk - Elección de Contenido Óptimo de Ligante.....	218



Tabla 130 Determinación de los Vacíos y Elección del Contenido de Asfalto Óptimo.....	219
Tabla 131 Determinación del Escurrimiento para S.M.A. Sin y Con Fibra Celulosa de Papel Bond.....	222
Tabla 132 Determinación de los Pesos Unitarios y Gravedad Específica Bulk de la Combinación de Agregados - Elección del Contenido de GCR Óptimo.....	223
Tabla 133 Determinación de los Vacíos en el Agregado Grueso en la Condición Seco Rodillado - Elección del Contenido de GCR Óptimo.....	224
Tabla 134 Determinación de la Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm) - Elección del Contenido de GCR Óptimo.....	225
Tabla 135 Determinación de la Gravedad Específica Bulk de Mezclas Compactadas - Elección de Contenido de GCR Óptimo.....	226
Tabla 136 Determinación de los Vacíos y Elección de Contenido de GCR Óptimo.....	227
Tabla 137 Determinación de la Estabilidad y Flujo de S.M.A. Sin y Con Grano de Caucho Reciclado.....	230
Tabla 138 Determinación de los Volúmenes de Vacíos de Aire.....	231
Tabla 139 Determinación de la Tracción Indirecta para S.M.A. Sin y Con GCR.....	232
Tabla 140 Gravedad Específica Bulk de la Combinación de Agregados para Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo.....	233
Tabla 141 Gravedad Específica Teórica Máxima para Ensayo de Rueda de Hamburgo para Ambas Gradaciones.....	234
Tabla 142 Gravedad Específica Bulk de las Probetas Compactadas para el Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo - Sin y Con GCR.....	235
Tabla 143 Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas - Sin y Con GCR.....	235
Tabla 144 Determinación de la Unidad, Rendimiento y Mano de Obra de la Partida.....	236
Tabla 145 Determinación de la Cantidad de Materiales de la Partida.....	237
Tabla 146 Determinación de los Precios de los Recursos de la Partida.....	238
Tabla 147 Análisis de Precios Unitarios de Mezcla Asfáltica S.M.A. Patrón.....	238
Tabla 148 Análisis de Precios Unitarios de Mezcla Asfáltica S.M.A. Con GCR.....	239
Tabla 149 Resultados del Control de Calidad del Agregado Grueso.....	240
Tabla 150 Resultados del Control de Calidad del Agregado Fino.....	246
Tabla 151 Reporte de Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo.....	262
Tabla 152 Propiedades Físico-Mecánicas de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón.....	263
Tabla 153 Análisis de Precios Unitarios de Mezcla Asfáltica S.M.A. Patrón.....	264
Tabla 154 Análisis de Precios Unitarios de Mezcla Asfáltica S.M.A. Con GCR.....	265
Tabla 155 Resumen de Análisis de Costos de Mezclas Asfálticas S.M.A. Patrón - S.M.A. Con GCR.....	265



Capítulo I: Planteamiento del Problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema.

En vista que las carreteras son pilares fundamentales en el desarrollo y economía del país, debido a la necesidad de interconexión de diferentes lugares para un óptimo crecimiento, se han desarrollado diferentes proyectos de carretera a lo largo del territorio en donde la infraestructura vial presenta ciertas carencias, debido a las propiedades de los pavimentos convencionales, llámense rígidos o flexibles, el cual no son capaces de resistir el incremento vehicular y las condiciones climáticas, obteniendo como respuesta proyectos que no cumplen con la vida útil proyectada.

Ministerio de transportes y comunicaciones (2021) menciona que el departamento del Cusco cuenta con una red nacional asfaltada de 1624 km, red departamental asfaltada 565.2 km y red vecinal asfaltada de 304.3 km, donde existen vías que presentan fallas de ahuellamiento pudiendo ser la causa de estas una mala elección en el tipo de mezclas asfálticas para el tráfico requerido en estos proyectos, determinando que “La principal ventaja de S.M.A. es la vida útil prolongada con un rendimiento mejorado del pavimento en comparación con la mezcla convencional en caliente de clasificación densa (HMA)” (National Asphalt Pavement Association, 2002, pág. 4) además de que “Las mezclas S.M.A. proporcionan un buen rendimiento en áreas de alto volumen de tráfico” (National Asphalt Pavement Association, 2002, pág. 3).

Lo que se busca es mejorar la capacidad de respuesta mecánica y dinámica, mediante una tecnología desarrollada en la década de los 60's en Alemania nombrada Stone Mastic Asphalt (S.M.A.) con polímeros, con el fin obtener un incremento en la durabilidad y resistencia, que ayude con la disminución del problema producido por el ahuellamiento, así como la fatiga ante sollicitaciones de carga de tránsito pesados y entornos sometidos a climas fríos por encima de los 3000 m.s.n.m.

Este diseño se fundamenta en una estructura granular en el que resalta la fricción de los agregados gruesos, que brinda una alta resistencia a la cortante y baja deformación permanente. Durante muchos años el diseño de mezclas bituminosas se han realizado según los métodos de Hveem y Marshall, pero estos presentan una carencia al evaluar el comportamiento de una carretera en circunstancias reales de servicio, “mostrando mejor desempeño el método Superpave durante su vida de servicio, garantizando una carpeta durable” tal como explica Garnica Anguas, Delgado Alamilla, & Sandoval Sandoval (2005). Debido a la escasez de información de la deformación permanente y ensayos de resistencia a fatiga por métodos



tradicionales, es preferible realizar el ensayo de la rueda carga de Hamburgo para la obtención de información más completa. (Torres Velázquez, Hernández Villares, Romero Zepeda, & Torres Verdín, 2016)

La contaminación generada por los neumáticos usados presenta un problema ambiental, ya que a pesar de las acciones de reciclaje estas son insuficientes frente a las grandes cantidades generadas cada día. Por ello nace la necesidad de buscar soluciones en este caso implementándolas en la pavimentación de las vías.

Tal como muestra la Tabla 1 se calcula el porcentaje de numero de neumáticos en desuso para el año 2016 que seguirá manteniéndose constante, solo así incrementando año a año el número de neumáticos por ende el desuso de estos. En palabras de Arriola (2004) es importante tomar en cuenta que un neumático tiene un tiempo de degradación en el ambiente de 500 años aproximadamente.

Tabla 1

Porcentaje de llantas en desuso destinadas a reciclaje en el año 2016

LLANTAS	Unidades	Porcentaje
Llantas en Desuso Perú	1'750,000	14.5%
Llantas Existentes Perú	11'996,892	100%

Fuente: (INEI, 2016)

La investigación se enfoca en la experimentación y diseño de una mezcla bituminosa incorporando grano de caucho reciclado provenientes de neumáticos usados, con el objetivo de aplicar los resultados en futuros proyectos en la región del Cusco.

1.2. Formulación interrogativa del problema

1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.

¿Cuál es el análisis comparativo de la estabilidad Marshall, la deformación permanente y costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. Patrón?

1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.

- ¿Cuál es el análisis comparativo de la estabilidad Marshall de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón?
- ¿Cuál es el análisis comparativo de la deformación permanente de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón?
- ¿Cuál es el análisis comparativo de costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón?



1.3. Justificación e importancia de la investigación

1.3.1. Justificación técnica.

Lo que se busca es reducir la deformación permanente por el alto tránsito mediante una mezcla S.M.A. con Grano de Caucho Reciclado, aminorar costos de producción al reemplazar un porcentaje del agregado grueso en la mezcla.

1.3.2. Justificación socio - ambiental.

Concientizar el reciclado y la reutilización de neumáticos con la finalidad de reducir la contaminación ambiental y aprovechar estos materiales para la aplicación en mezclas S.M.A., obteniendo carreteras de mayor vida útil brindando confort a la población por mayor tiempo.

1.3.3. Justificación por viabilidad.

Es factible porque se podrá realizar la investigación en laboratorios externos y en el laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto de la Universidad Andina del Cusco, puesto que el equipamiento es óptimo para el avance de la investigación ya que es posible realizar pruebas de calidad a los áridos y corroborar las exigencias mínimas del diseño S.M.A.

1.3.4. Justificación por relevancia.

En busca de solucionar los problemas de deformación permanente por el alto tránsito en ciudad el Cusco, la investigación estudia el efecto que se obtendrá de la inclusión de grano de caucho reciclado (GCR) en una mezcla S.M.A., mediante ensayos experimentales para la obtención de resultados que ayuden a determinar si son favorables o no la inclusión de los polímeros en las mezclas asfálticas, para una vida útil mayor y una deformación permanente mínima.

1.4. Limitaciones de la investigación

La presente investigación esta limita a la preparación de mezclas S.M.A. con grano de caucho reciclado (GCR) y mezclas S.M.A. patrón.

1.4.1. Limitación de materiales.

- Asfalto PEN 85/100 en referencia al PG 58-10 (Grado de desempeño), para zonas ubicadas a más 3000 m.s.n.m.
- Fibra de celulosa de papel bond.
- Filler (cemento portland tipo IP).
- Grano de caucho reciclado (GCR) de la trituración de neumáticos reciclados, con un TMN 1/2".
- Agregado fino (arena lavada de río), procedente de la cantera de Cunyac.



- Agregado grueso (piedra chancada) de 3/4” y 1/2”, Agregado fino (arena triturada), procedentes de la cantera de Vicho.

Tabla 2

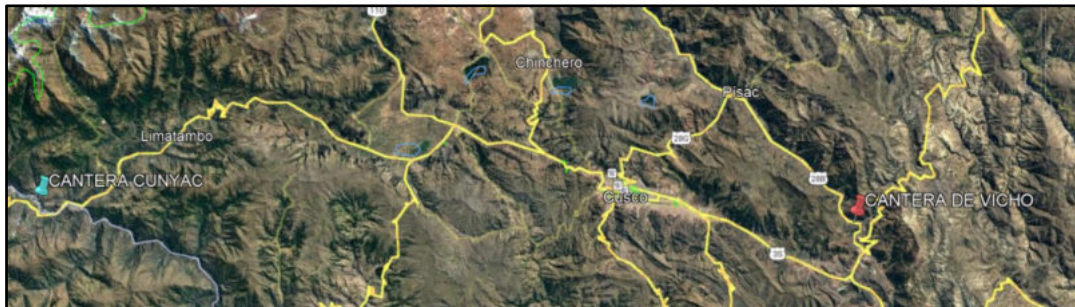
Ubicación Geográfica de Canteras Cunyac y Vicho

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
CANTERA	CUNYAC	VICHO
DISTRITO:	CURAHUASI	SAN SALVADOR
PROVINCIA:	ABANCAY	CALCA
REGIÓN:	APURIMAC	CUSCO

Fuente: Elaboración Propia

Figura 1

Mapa de Ubicación Geográfica de Canteras Cunyac y Vicho



Fuente: Google Earth

1.4.2. Limitaciones de diseño.

- El presente estudio estará limitado geográficamente, para zonas con altitud mayor a 3000 m.s.n.m., por ende, los resultados obtenidos de los materiales se limitarán a este territorio.
- Propiedades Físico – Mecánicas a evaluar en laboratorio:
 - Parámetros Volumétricos
 - Escurrimiento
 - Estabilidad y Flujo Marshall
 - Resistencia al daño inducido a la humedad
 - Deformación permanente
- Para diseño mezclas S.M.A. patrón se realizará un diseño de mezclas Marshall.
- Para diseño mezclas S.M.A. con GCR se utilizará el mismo diseño S.M.A. patrón, con la diferencia que se sustituirá un porcentaje del agregado grueso por el GCR respecto al peso del agregado grueso
- El diseño de restringirá a un TMN de 3/4” (19mm).



- Las muestras de mezcla S.M.A. modificada (GCR), sustituirán el agregado grueso por grano de caucho reciclado, las proporciones de sustitución serán: 5%, 10%, 15% y 20%, respecto al peso del agregado grueso.
- Porcentaje de asfalto para mezcla S.M.A varia de 0.5% por recomendación del manual EG-2013, siendo estos 6%, 6.5%, 7%, y 7.5%, respecto al peso total de la mezcla.
- Porcentaje de fibra celulosa de papel bond al 0.3% con respecto al peso total de la mezcla.
- Los especímenes empleados en el ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo estarán bajo el agua a una temperatura de 50°C.

1.4.3. Limitación de normativa.

- Requerimiento de agregado grueso y fino, limitados por el manual EG – 2013 (R.D. N° 22-2013-MTC/14).
- Desarrollo de ensayos de agregado grueso y fino, limitados por el manual de ensayo de materiales (RD N° 18-2016-MTC/14) y AASTHO.
- Desarrollo de ensayo de rueda cargada de Hamburgo, limitado por la norma AASHTO.
- Desarrollo de ensayo de parámetros volumetricos, limitados por la norma AASHTO T 166.
- Desarrollo de ensayo de estabilidad y flujo Marshall, limitados por la norma MTC E 504.
- Desarrollo de ensayo de susceptibilidad a la humedad, limitados por la norma MTC E 522.
- Se limita como referencia para el diseño de mezclas S.M.A. al manual EG-2013 (R.D. N° 22-2013-MTC/14), norma NAPA.
- Requerimiento de mezclas S.M.A. limitado por la norma NAPA 2002.

1.4.4. Limitación de equipo.

Se limita a los aparatos y herramientas de Laboratorios Externos y el Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto UAC.

1.5. Objetivo de la investigación

1.5.1. Objetivo general.

Analizar comparativamente la estabilidad Marshall, la deformación permanente y los costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón.



1.5.2. Objetivos específicos.

- a) Analizar la comparación de la estabilidad Marshall de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón.
- b) Analizar la comparación de la deformación permanente de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón.
- c) Analizar la comparación de costos de una mezcla S.M.A con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón.



Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la tesis o investigación

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.

En la tesis de pregrado denominada **“Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del Cusco-2018”**, realizado por Corbacho, Jorge (2019), de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, plantea entre otros, los siguientes objetivos específicos: Evaluar la estabilidad Marshall, la deformación permanente de aglomerado que reemplaza el árido fino por filamentos de PET respecto a una mezcla bituminosa convencional.

Los hallazgos obtenidos fueron para una mezcla bituminosa con fibras PET y una mezcla convencional, se determinó un porcentaje óptimo de ligante de 6.15%, el porcentaje de fibras PET usado fue de 1.2%, en caso de la estabilidad un valor de 856.3 kg y 938 kg respectivamente, para el flujo un valor de 14.7 mm y 13.8 mm respectivamente y por último, la deformación permanente en el primer caso soporto 7660 pasadas y en el segundo soporto 6166 pasadas, no cumpliendo en ambas situaciones el requerimiento mínimo de 20000 pasadas. Todos estos ensayos se rigieron por las normas MTC E-504, EG-2013 y AASHTO T324-14.

Se concluyó que el reemplazo del árido fino por PET en una mezcla bituminosa respecto a una mezcla bituminosa convencional, disminuye la estabilidad Marshall en un 9.6%, incrementando el flujo en 6.52% e incrementando la resistencia a la deformación permanente en un 24%.

Este antecedente brinda a la tesis que se propone una guía metodológica sobre el desarrollo de los ensayos, normas empleadas y porcentajes referenciales sobre la actuación del PET en la mezcla bituminosa.

En la investigación de pregrado denominada **“Análisis de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, con respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con celulosa elaborada de papel bond”**, realizado por Tapia Carpio & Valderrama Lozano (2018), de la Universidad Andina del Cusco plantea entre otros como objetivo general: Analizar el desempeño de dos fibras celulosa, una comercial y otra elaborada a partir de papel bond a través de ensayos que determinen sus propiedades físico mecánicas en la mezclas S.M.A. con agregados de la región.



Se concluyó que ambos casos los resultados son similares. Comprobándose el escurrimiento para la fibra de celulosa comercial y fibra celulosa de papel bond al 0.03% respecto al peso de la mezcla bituminosa, para ambas fibras se tomó en cuenta las temperaturas de 165°C y 175°C (Temperatura de Planta), en la primera situación se tuvieron valores de 0.02% y 0.01%, para la segunda situación valores de 0.01% y 0.01% respectivamente a las temperaturas.

Este antecedente brinda a la tesis que se propone una guía metodológica sobre el desarrollo de los ensayos, normas empleadas y porcentajes referenciales sobre la actuación de las mezclas S.M.A, así también el porcentaje óptimo de 0.3% fibra celulosa elaborada con papel bond.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.

En el artículo científico denominada **“Reciclaje de caucho de neumáticos en pavimentos asfálticos: estado del arte”**, realizado por Alfavez, Suleiman, & Nehdi (2020), de la Western University, donde proporcionan una descripción general sistemática y crítica de la investigación y la práctica del uso de caucho de neumáticos reciclado en pavimentos de asfalto en términos de evaluación de propiedades de ingeniería, desempeño y durabilidad.

Los resultados obtenidos fueron: Agregar caucho desmenuzado a los aglutinantes de asfalto puede mejorar la resistencia del asfalto al endurecimiento por envejecimiento. Un aumento en el contenido de caucho en el aglutinante de asfalto aumenta el componente elástico de la dinámica módulo de corte, lo que conduce a una mejor recuperación y resistencia a la formación de surcos de los pavimentos asfálticos. Sin embargo, un gran aumento en el contenido de caucho aumenta la viscosidad del aglomerante (y cambia las características de flujo de newtoniano a adelgazamiento por cizallamiento), lo que puede provocar dificultades de construcción.

Se concluyó que la adición de caucho desmenuzado de llantas de desecho al aglutinante de asfalto puede incrementar la resistencia a la formación de surcos y la deformación permanente del pavimento (debido a un aumento de la viscosidad), reducir agrietamiento por fatiga, mejora la durabilidad contra cargas de tráfico y mejora la sostenibilidad del pavimento ahorrando energía y recursos naturales, aminorando los costos de mantenimiento y reparación de pavimentos asfálticos.

Este antecedente brinda a la tesis el comportamiento del caucho de neumáticos reciclado en el asfalto.



En el artículo científico denominado **“Evaluación del desempeño de aglutinantes y Stone Matrix Asphalt (SMA) mezclas modificadas por Ground Tire Rubber (GTR), residuos de polietileno Tereftalato (PET) y agentes anti-decapantes (ASA)”**, realizado por Ameli y otros (2020) de distintas universidad e institutos de Iran y Vietnam plantea como objetivo: investigar el efecto de ASA sobre propiedades de rendimiento de aglutinantes y mezclas que contienen PET / GTR. En el trabajo actual, compuestos PET / GTR con diferentes composiciones se utilizaron para modificar el aglutinante y mejorar su rendimiento.

Los resultados obtenidos fueron: El PET y GTR mejoran la flexibilidad de las mezclas, los resultados indicaron como los porcentajes de PET mejoran el rendimiento de deformación permanente de las mezclas. Además, la adición de ASA mejoró la formación de surcos, comportamiento de las mezclas, entre los ASA, ASA (B) tiene un mejor efecto sobre el comportamiento de deformación permanente de las mezclas.

Como muestran los resultados, la adición de una combinación de 75% PET y El 25% de aditivo GTR al aglutinante base causa una disminución en la profundidad de la rodadura de especímenes en un 27%. La adición de PET /GTR al aglutinante original conduce a mejorar la flexibilidad del aglutinante. Como la flexibilidad de la carpeta aumenta, la capacidad del aglutinante para recuperar la tensión aplicada realza. Además, la flexibilidad del aglutinante aumenta con la adición de ASA. Como muestran los resultados, las mezclas que contienen ASA tienen mayor fuerza contra el surco.

Se concluyó que de la wheel track test, la adición de PET / GTR mejoro el comportamiento de deformación permanente de las mezclas, y por un aumento de la relación PET / GTR, la resistencia a la formación de surcos mejora. Como muestran los resultados, la adición de ASA al aglutinante base provocar una mejora de la resistencia a la formación de surcos de las muestras.

Según la prueba de fatiga del haz de cuatro puntos, la utilización de PET / GTR mejora la resistencia a la fatiga de las muestras, también que la utilización de ASA provoca un aumento en el rendimiento de fatiga de las muestras y la incorporación de PET / GTR incrementa la elasticidad comportamiento de la mezcla y, como resultado, mejora la vida a fatiga.

Este antecedente brinda a la tesis que se propone una guía metodológica sobre el desarrollo de los ensayos y porcentajes referenciales entre una mezcla S.M.A.

2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes.

2.2.1. Definiciones.

2.2.1.1. Pavimento asfáltico.

2.2.1.1.1. Definición de pavimento asfáltico.

El Ministerio de transporte y comunicaciones (2014) manifiesta que esta estructura multicapa (base, subbase, carpeta de rodadura) llamada pavimento es la encargada de resistir y distribuir la carga generada por los vehículos, además de mejorar el confort y seguridad de los usuarios.

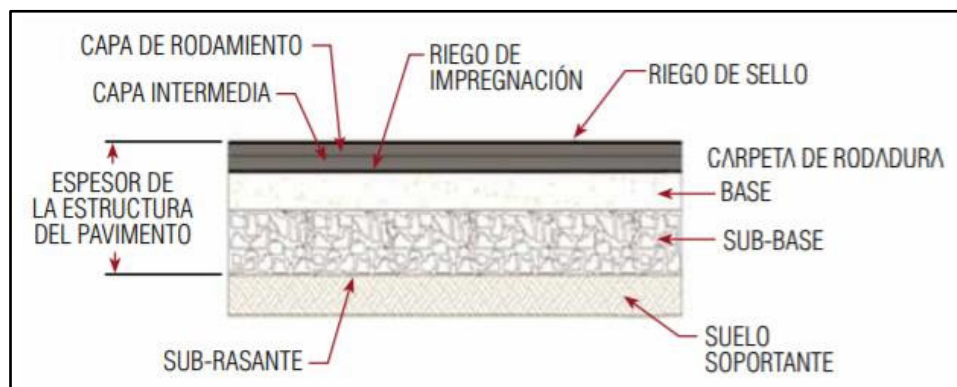
Así también otras personas definen al pavimento como una conformación de capas horizontales hechas de materiales idóneos, que han sido compactados de acuerdo con especificaciones técnicas. Estos estratos descansan sobre un suelo de cimentación producido por el corte o relleno de tierra, que deben soportar los esfuerzos transmitidos de cargas repetidas originadas por el tránsito, debiendo durar el periodo de tiempo para el cual se diseñó. (Montejo Fonseca, 2002, pág. 1)

2.2.1.1.2. Estructura de un pavimento asfáltico.

Los autores Gonzales & Huamán (2006) mencionan que los pavimentos asfálticos consisten en una capa de asfalto apoyada sobre dos capas que actúan de forma no rígida como son la base y sub base. Sin embargo, una de estas se puede omitir para menesteres particulares del proyecto. En la figura 2 se puede ver la distribución convencional de los estratos que componen la estructura de un pavimento. (pág. 1)

Figura 2

Esquema Típico de un Pavimento Flexible



Fuente: (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015)



a) *Carpeta asfáltica.*

La carpeta de rodadura hecha generalmente de una de asfalto, al estar en contacto con la superficie debe tener una textura adecuada para soportar los efectos abrasivos del medio ambiente y suelo. (Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman, 2006, pág. 2)

Como señala Universidad Mayor de San Simón (s.f.) la carpeta de rodamiento desempeña las funciones siguientes:

- Para mantener la capacidad portante de las capas, la carpeta de rodadura deberá impermeabilizar el pavimento.
- Deberá tener una textura antideslizante y uniforme, incluso en situaciones meteorológicas húmedas.
- Moderar las deformaciones plásticas en la base, a través de la disminución de los esfuerzos verticales que la carpeta ejerce sobre esta.

b) *Base.*

El Ministerio de transporte y comunicaciones (2013) menciona que la base de material granular está compuesta por una o más capas que han sido obtenidas de forma natural o procesada, con opción de adicionar un ligante estabilizador de ser necesario pero que cumpla las pruebas de calidad, el cual es colocado sobre la subbase o sub rasante. (pág. 175)

Otras fuentes especifican que este estrato al ser el encargado de transmitir las cargas provocadas por los vehículos deberá componerse por un material granular drenante con un CBR > 80% o en su defecto ser tratado con otros aditivos como cemento, cal o asfalto. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 13)

Los autores Gonzales & Huamán (2006) menciona que al estar la subbase debajo de la base, esta última cumple el rol de transmitir las cargas generadas por el tráfico, por tanto, debiendo cumplir los requerimientos mínimo de calidad para sus materiales. Esta capa en su mayoría está compuesta por grava procesada que en el ensayo de Proctor modificado debe cumplir al 100% la densidad máxima seca. (pág. 2)

Como señala Universidad Mayor de San Simón (s.f.) el estrato base cumple las funciones siguientes:

- Debido a ser una capa superior a la subbase y al terreno de fundación, debe aminorar las tensiones verticales generadas por las cargas de tránsito vehicular.



- Al estar debajo de la carpeta de rodadura, deberá disminuir las deformaciones de tracción producida por las cargas de la superficie.
- Deberá evacuar el agua infiltrada por los desagües laterales longitudinales pasantes.

c) Subbase.

El Ministerio de transporte y comunicaciones (2013) menciona que, al igual que la base, deberá ser construida por una o más capas de materiales granulares, obtenido de forma natural o procesada, que deben cumplir los requerimientos mínimos de calidad, ya que esta capa estará sobre el terreno de fundación. (pág. 171)

Asimismo, también lo definen como una capa que debe cumplir ciertas especificaciones de acuerdo con su diseño, ya que descansan sobre ella la base y carpeta de rodadura, además debe servir de drenaje para controlar el fenómeno de capilaridad propio del agua. La existencia de esta capa depende si el diseño lo amerita ya que existen variables como el tipo de pavimento, dimensionamiento. Generalmente está compuesta por un material granular que cumpla $CBR > 40\%$ o en su defecto llevar un tratamiento con cemento, asfalto o cal. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 13)

Los autores Gonzales & Huamán (2006) recalcan que la subbase es una capa que depende del diseño, ya que este decidirá si es necesario o no, ya que descansa sobre el suelo de cimentación y la calidad de materiales que lo componen son menores, dado que los esfuerzos verticales van disminuyendo a mayor profundidad. (pág. 2)

d) Terreno de fundación.

Los autores Gonzales & Huamán (2006) mencionan que el suelo de cimentación se puede conformar por rellenos (terraplén) o cortes del suelo natural, para los dos casos la cota geométrica superior es nombrada subrasante. (pág. 2)

2.2.1.1.3. Importancia de pavimentos asfálticos.

El autor Montejo (2002) alega que un pavimento debe reunir los siguientes requisitos para cumplir con su función:

- Ser resistente a las cargas originadas por los vehículos.
- Soportar las condiciones meteorológicas de la zona.
- Poseer una textura adecuada para las velocidades de los vehículos, ya que es influyente en la seguridad de los usuarios, además que debe soportar el desgaste abrasivo que producen los neumáticos de los automóviles.



- Poseer regularidad superficial tomando en consideración las longitudes de onda que describen las deformaciones y velocidades vehiculares, en su plano longitudinal y transversal para lograr un confort que satisfaga las necesidades del usuario.
- Poseer adecuada durabilidad.
- Poseer un drenaje que cumpla las condiciones pluviales.
- Deberá generar un ruido de rodadura moderado, para lograr el confort en el interior del vehículo, al igual que en la parte externa para no generar alteraciones en el medio ambiente.
- Deberá lograr el equilibrio entre calidad y un bajo costo de construcción.
- Presentar señalización vial con colores que eviten deslumbramientos y reflejos, para proporcionar una idónea seguridad a los usuarios.

2.2.1.1.4. Funciones de pavimentos asfálticos.

La función principal de un pavimento esta sostenida por su estructura, que una base adecuada proporcionara a la carpeta de rodadura brindar movimientos cómodos y seguros a los vehículos que transiten por ella a velocidades adecuadas y en todas las condiciones meteorológicas. Existe una amplia variedad de tipos de pavimento de acuerdo con los tipos y cantidad de vehículos de tráfico.

El propósito de la Ingeniería de Pavimentos es el diseño, construcción y gestión de pavimentos para estos se realicen al menor costo para la población. Siendo por esencia, una actividad multidisciplinar, donde se ven inmersos diferentes conceptos y técnicas de las ingenierías, debiéndose dar la importancia al mantenimiento de los pavimentos ya construidos para su adecuada durabilidad.

Así también pueden ocurrir fallas catastróficas en los pavimentos debido a errores en el diseño geotécnico, o terraplenes formados por suelos expansivos. Así como la degradación de pavimentos que se da de forma sostenida en el tiempo, desde la apertura a circulación por mecanismos que no están enteramente ligados, donde las deformaciones se acumulan gradualmente y se forman a través de las capas, debido a los efectos meteorológicos más la combinación de cargas vehiculares. Asimismo, el estado de un pavimento “falla” hasta cierto punto indefinido y subjetivo, habiendo un debate entre técnicos y administradores referente al periodo adecuado para reparar un pavimento que exhibe deficiencias estructurales y/o funcionales. (Universidad Mayor de San Simón, s.f., pág. 2)



2.2.1.2. *Asfalto.*

2.2.1.2.1. *Definición de asfalto.*

Según The Asphalt Institute (1986) la mayor parte del petróleo está conformada por el asfalto, así también el proceso para obtenerlo son de forma artificial o natural, en el primer caso se da la destilación del petróleo crudo para separarlo en fracciones, dejando como residuo al asfalto, en el segundo caso existen yacimientos naturales de asfalto en forma de rocas porosas, conocidas también como rocas asfálticas que están libres de impureza o se encuentran con residuos de minerales, agua, u otros. (pág. 21)

El asfalto es una sustancia de color negra, cementante, con una consistencia que fluctuara entre sólido y semisólido dependiendo de la temperatura ambiente. A temperaturas mayores se encontrará en estado líquido, que servirá para cubrir los agregados pétreos y formar aglomerado. El asfalto es un material que presenta viscosidad y es pegajoso, por lo que los agregados se adhieren con facilidad cuando está en un estado líquido y caliente. Al ser también un excelente impermeabilizante evita los ácidos y sales, por tanto, le da a un pavimento la capacidad de ser impermeable y ser resistente a los daños químicos. Las propiedades del asfalto cambian cuando relacionan con el oxígeno ya que se dispone a convertirse duro y frágil, además de perder su adherencia con el tiempo. (Asphalt Institute, 2001)

Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman (2006) indica que las mezclas asfálticas tienen un ligero contenido de asfalto, mayor participación de agregado, así mismo se resalta como esta cantidad pequeña es incidente en el desempeño de la mezcla.

Figura 3

Especimen Elaborado con Cemento Asfáltico



Fuente: (Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman, Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, 2006)

2.2.1.2.2. Tipos de asfalto.

Minaya Gonzalez y Ordoñez Huaman (2001) indica que para la construcción de pavimentos asfálticos los tipos de asfalto se pueden dividir:

a) *Cemento asfáltico.*

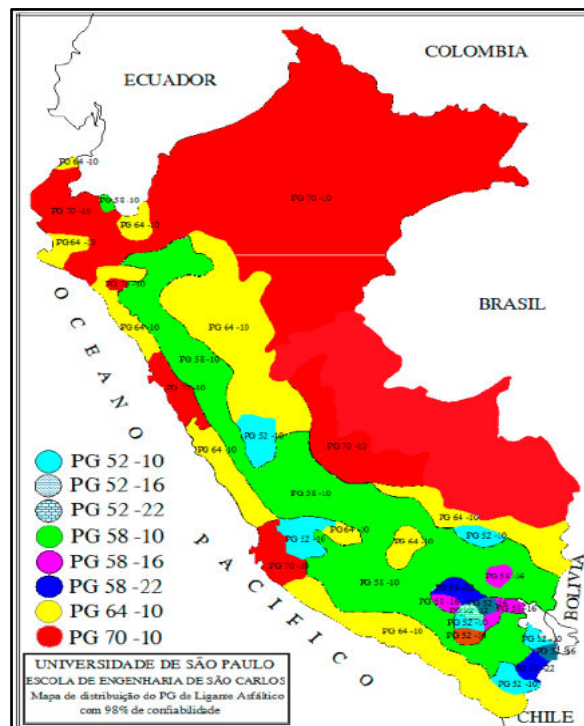
Minaya Gonzalez y Ordoñez Huaman (2001) menciona que el ligante asfáltico es conseguido a partir de la destilación del petróleo para luego pasar por un proceso de refinación, presenta un color negro, a temperatura ambiente es semisólido, viscoso y pegajoso, además posee propiedades de adherencia, resistencia, durabilidad frente a ácidos. Por eso es utilizado para la preparación de mezclas bituminosas en caliente que conforman la carpeta de rodamiento de un pavimento flexible, ya que junto a los agregados y su adherencia forman un conjunto que logra soportar el tráfico pesado de los vehículos.

a.1.) *Grado de desempeño del asfalto*

Según Petroperú (s.f) el cemento asfáltico está clasificado según el parámetro grado de desempeño (PG), que ordena los asfaltos de acuerdo con la capacidad del pavimento a mantenerse sin fallas a temperaturas ambiente altas y bajas.

Figura 4

Mapa de distribución de PG de Ligante Asfáltico en el Perú



Fuente: (Universidad de Sao Paulo, s.f)



Así también en nuestro país la comercialización de ligantes asfálticos se da por su grado de penetración, tomando como referencia la siguiente tabla se muestra la relación del grado de desempeño y el grado de penetración que sirve como apoyo para la adquisición de estos productos.

Tabla 3

Cementos asfálticos "Superpave" Petroperú - Refinería Conchan

		Año 2008	Año 2004	Año 2001	Año 2008	Año 2004	Año 2001
Penetración ...>		PEN 85/100	PEN 85/100	PEN 85/100	PEN 120/150	PEN 120/150	PEN 120/150
Performance Grade, PG	M 320, Tabla 1	PG58-28	PG58-28	PG58-28	PG58-28	PG58-28	PG58-28
"True" Performance Grade, PG	M 320, Tabla 2	PG58-28.7	PG58-30	PG58-28	PG58-31.2	PG58-29	PG58-28
Rango Efectivo	Temperat. °C	91.7	91	91	89.2	88	86
(G*/Sin δ) - Virgen	>1.0 Kpa	1.870 a 58 °C	1.479 a 58 °C	2.042 a 58 °C	1.080 a 58 °C	0.555 a 64 °C	1.008 a 58 °C
(G*/Sin δ) - Envejecido RTFOT	>2.2 Kpa	8.610 a 58 °C	3.112 a 64 °C	7.35 a 58 °C	4.360 a 58 °C	3.141 a 64 °C	4.328 a 58 °C
(G*/Sin δ) - Envejecido RTFOT	Máx. >5,000 Kpa	4,950 a 16 °C	3,765 a 19 °C	3,868 a 19 °C	4,350 a 13 °C	4,734 a 16 °C	4,570 a 16 °C
Cracking Crítico	Temperat. °C	-26.3	-28.6	-29	-33.7	-28.1	-30

Fuente: (Petroperú, s.f)

b) Emulsiones asfálticas.

En palabras de Minaya Gonzalez y Ordoñez Huaman (2001) la emulsión asfáltica es la conformación de ligante asfáltico, agua y un agente emulsificante. Es elaborada con el objetivo de disminuir la viscosidad presente en el asfalto con el fin de poder aplicarlas en regiones con temperaturas bajas. Los tipos más utilizados son especificados en ASTM D977 (Emulsiones Aniónicas) y ASTM D2397 (Emulsiones Catiónicas).

c) Asfalto diluido o cut back.

Así también Minaya Gonzalez y Ordoñez Huaman (2001) menciona que los asfaltos diluidos son obtenidos a partir de la incorporación de un destilado del petróleo que disminuye su viscosidad permitiendo su aplicación en regiones con bajas temperaturas, el solvente se evapora dejando el ligante asfáltico en la zona de aplicación, se pueden observar distintos tipos de acuerdo a la necesidad de las especificaciones:

- Curado Rápido (RC) - ASTM D2026
- Curado Medio (MC) - ASTM D2027
- Curado Lento (SC) - ASTM D2028



2.2.1.3. Mezclas asfálticas.

De acuerdo con Rondón Quintana & Reyes Lizcano (2015) las mezclas asfálticas resultan de la unión de agregados y un ligante asfáltico, elaboradas normalmente en plantas de mezclado o en otros casos elaborados en la zona de trabajo.

2.2.1.3.1. Clasificación de las mezclas asfálticas.

Rondón Quintana & Reyes Lizcano (2015) menciona algunos tipos de mezclas asfálticas que podemos encontrar son los siguientes:

- Arena – asfalto
- Concreto asfáltico o mezcla densa en caliente
- Lechadas (Slurry and Seal)
- Materiales granulares estabilizados con asfalto en frío o caliente
- Mezclas abiertas en caliente
- Mezclas abiertas en frío
- Mezclas asfálticas drenantes
- Mezclas asfálticas modificadas
- Mezclas densas en frío
- Mezclas discontinuas o microaglomerados en caliente
- Mezclas tibias
- Tratamientos superficiales

2.2.1.3.2. Propiedades de las mezclas asfálticas.

Rondón Quintana & Reyes Lizcano (2015) menciona que las principales propiedades que se desean en estos aglomerados son los siguientes:

- Resistir la carga a tracción
- Poseer una adecuada resistencia a deformaciones permanentes
- Presentar resistencia a efectos de fatiga
- Presentar oposición al fenómeno de deslizamiento
- No permitir el paso de sustancias a través de él
- Resistir los efectos de envejecimiento
- Demostrar durabilidad
- Presentar oposición a las condiciones meteorológicas
- Facilidad para su mezclado y colocado



- Lograr el equilibrio entre calidad y menores costos

2.2.1.4. *Concreto asfáltico o mezcla asfáltica en caliente.*

Nombrado también HMA (Hot Mixed Asphalt) está conformado por agregados (gravas, arenas, finos, filler) que presentan una granulometría continua, además debiendo cumplir los requisitos mínimos de calidad, siendo recubiertas por el cemento asfáltico. Su producción y colocado debe llevarse a altas temperaturas de 140°C y 180°C, esta mezcla se distingue por su bajo contenido de vacíos de aire. (Róndon Quintana & Reyes Lizcano, 2015, pág. 88)

2.2.1.4.1. *Propiedades de mezcla asfáltica en caliente.*

Asphalt Institute (1992) menciona que existen propiedades que ayudan a obtener mezclas asfálticas de calidad, estas pueden ser:

a) *Estabilidad.*

Como menciona Asphalt Institute (1992) la estabilidad en una mezcla bituminosa es la cualidad para soportar el desplazamiento y deformación de las cargas vehiculares producidas por el tráfico. Así también existen requisitos mínimos de estabilidad, pero estos dependerán al tráfico que se espera. La estabilidad dependerá de dos factores, la fricción que requiere de la textura y forma de los agregados, y la cohesión que estará relacionada a la capacidad del ligante asfáltico.

Tabla 4

Causas y Consecuencias de Inestabilidad

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

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

b) *Durabilidad.*

En palabras de Asphalt Institute (1992) es la cualidad que tiene la mezcla asfáltica de resistencia a circunstancias como el desgaste de agregado, cambios en el asfalto, separación del asfalto originados por factores meteorológicos y/o tránsito.



Tabla 5

Causas y Consecuencias de una Baja Durabilidad

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

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

c) Impermeabilidad.

Según Asphalt Institute (1992) esta propiedad se relaciona con la oposición que proporciona la mezcla bituminosa al tránsito de aire y agua a través de ella. El contenido de vacíos es incidente en esta característica.

Tabla 6

Causas y Consecuencias de la Permeabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada	Resultará en vacío altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

d) Trabajabilidad.

De acuerdo con Asphalt Institute (1992) lo describe como la versatilidad de la mezcla para su colocado y compactado en obra.



Tabla 7

Causas y Consecuencias de Dificultades en la Trabajabilidad

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

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

e) Flexibilidad.

Como menciona el Asphalt Institute (1992) es cualidad que presenta una mezcla asfáltica al adaptarse sin agrietamiento a asentamientos pequeños de la subrasante, esta característica es importante ya que las subrasantes sufren asentamientos bajo las cargas o se expanden.

f) Resistencia a la fatiga.

Tal como menciona el Asphalt Institute (1992) la resistencia a la fatiga está relacionada a las cargas repetidas de tránsito que tiene que soportar un pavimento flexible, en este caso al porcentaje de vacíos y la viscosidad del ligante manifiestan una relación directa sobre la resistencia a la fatiga.

Tabla 8

Causas y Consecuencias de una Baja Resistencia a la Fatiga

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Agrietamiento por fatiga.
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada fricción seguida por agrietamiento por fatiga.

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)



g) *Resistencia al deslizamiento.*

En palabras del Asphalt Institute (1992) el objetivo es disminuir el deslizamiento de las ruedas de los automóviles cuando la superficie se encuentre húmeda. Con el fin de obtener una resistencia adecuada las ruedas deben sostener contacto con los agregados mas no con la película de agua que se forma en el pavimento llamado también hidropneumático. Por lo que una superficie rugosa lograra tener mejores resultados de resistencia al deslizamiento respecto a una lisa.

Tabla 9

Causas y Consecuencias de una Baja Resistencia al Deslizamiento

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal grado como la textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropneumático
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

2.2.1.5. Mezcla asfáltica modificada.

Como nos dice Rondón & Reyes (2015) hay dos técnicas para alterar las propiedades de las mezclas bituminosas, el primer caso es llamado vía húmeda ya que el aditivo es adicionado al ligante a altas temperaturas, para posteriormente añadir la mezcla a los agregados, en el segundo caso llamado vía seca, es el aditivo un sustituto parcial o total del agregado, por lo general la parte más fina es reemplazada, posteriormente se agregará el asfalto y conformara la mezcla bituminosa. (pág. 135)

Rondón & Reyes (2015) mencionan que el objetivo que se persigue al modificar el asfalto es mejorar las propiedades que presentan las mezclas asfálticas, siendo las siguientes:

- Adherencia entre los agregados pétreos
- Cohesividad
- Oposición a la deformación permanente (ahuellamiento) bajo carga cíclica y monotónica.
- Oposición a la fisuración y susceptibilidad térmica
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al daño por humedad
- Resistencia al envejecimiento
- Rigidez



2.2.1.5.1. Mezcla asfáltica modificada con polímeros.

Este tipo de aglomerados añadidos con polímeros son utilizadas en pavimentos de alto desempeño ya que requieren estándares altos de una mayor vida útil, resistencia a cargas de tráfico pesado, comodidad a conductores y peatones. (TDM GRUPO, 2016)

a) Polímero.

Como nos dice Rondón & Reyes (2015), La clasificación de polímeros se da en fragmentos: los termoendurecibles que no se pueden usar como aditivos para los aglomerados debido a que a altas temperaturas pierden sus propiedades, luego siguen los termoplásticos que si soportan altas temperaturas, estos a su vez se subdividen en: elastómeros conformados principalmente por cauchos naturales, sintéticos y el grano de caucho reciclado (GCR), por otra parte se encuentran los plastómeros los cuales pueden ser polietileno, polipropileno, poliestireno y policloruro de vinilo (PVC). (pág. 137)

2.2.1.6. Mezcla Asfáltica Stone Mastic Asphalt (S.M.A.)

De acuerdo con Brown & Manglorkar (1993) las mezclas S.M.A. son el producto de piedra triturada, masilla de asfalto, filler y un aditivo estabilizador. Posee una gradación que le permite maximizar el contenido de ligante asfáltico y la proporción de agregado grueso.

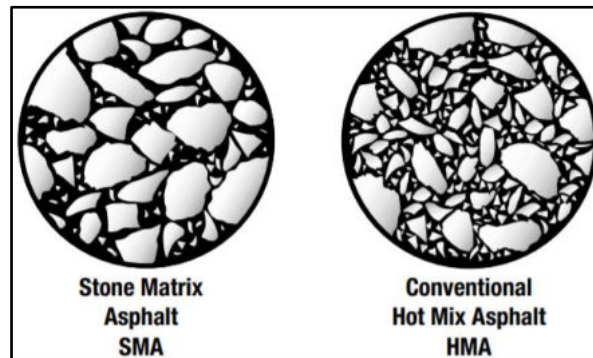
En Estados Unidos llamadas Stone Matrix Asphalt, fueron desarrolladas inicialmente en Alemania a mediados de los años sesenta, en el viejo continente en el cual fue denominado "Splittmastixasphalt" lo que revela su origen alemán. Se usaron para diferentes superficies en Alemania, Austria, Belgica, Holanda y los países escandinavos, así como Japon obteniendo un buen éxito.

El objetivo inicial era crear una mezcla que ofreciera la máxima resistencia a la erosión producido por el contacto de los ruedas de los vehiculos con la carpeta asfáltica, además se ha demostrado que tienen una baja deformacion permanente frente a cargas de trafico pesado así como una buena temperatura de flujo, otras propiedades relevantes a mencionar son la mayor durabilidad, mejores propiedades de envejecimiento y ruido de tráfico reducido como expresa Brown & Manglorkar (1993).



Figura 5

Representación Gráfica de la Diferencia entre S.M.A. y HMA



Fuente: (National Asphalt Pavement Association, 2002)

2.2.1.6.1. Comportamiento de Mezcla S.M.A.

Como dice Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman (2006) la calidad de las mezclas S.M.A. se fundamenta en la fricción de agregado con agregado brindándole una resistencia superior a la cortante y así como una gran oposición a la deformación permanente. Al tener una granulometría discontinua colmatada por una masilla de finos, asfalto, filler y fibra, se aprecia aun mas un mayor contenido del cemento asfáltico dentro de toda la estructura, que oscila entre un 6 y 7%, presentando una mezcla asfáltica con alta durabilidad.

Al poseer un contenido de vacíos que oscila entre 2 a 4% por volumen, siendo este valor inferior en otro tipo de mezclas le permite tener a la mezcla asfáltica una notable macrotextura y una permeabilidad baja. El agente estabilizador puede tener origen orgánico, mineral o polimero. Este se encarga de evitar el escurrimiento del ligante al recubrir los agregados, proveyendo una mezcla homogénea.

Está comprobado las ventajas que pueden brindar este tipo de mezcla, aun cuando requiera un mayor contenido de cemento asfáltico, no obstante, no solo dependerá de este, sino también de una calidad alta de agregados. El S.M.A. analizado de la manera correcta demanda niveles mínimos de mantenimiento, siempre que la vía este correctamente diseñada. Asimismo, su aplicación y mantenimiento es simple y rápido, ya que la vida útil de este pavimento contribuye a menores costes.

2.2.1.6.2. Componentes.

Como señalan Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman (2006) la estructura compuesta por la masilla de arena, asfalto, filler y aditivo es relevante en el desempeño de la mezcla S.M.A. ya que rigidiza el compuesto, algo que es buscado en esta clase de mezclas. Además, el filler y



aditivo disminuyen la proporción de asfalto que escurre de la mezcla mientras se realiza su colocado, incrementado la proporción de ligante útil en el modelo y logrando una mejor durabilidad.

Tabla 10

Materiales para Mezclas S.M.A.

Capa	Material	Tráfico medio	Tráfico Alto
Superficial e intermedia/ligante	Agregado	Grava chancada Piedra chancada Arena chancada Filler mineral	
	ligante asfáltico	Asfalto modificado El asfalto no modificado puede ser usado para tráfico bajo.	Asfalto modificado Asfaltos no modificados dependiendo de la experiencia laboral.
	otros	Fibras Antistrip en la cantidad definida en laboratorio	

Fuente: (Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman, Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, 2006)

a) Agregados.

Como indica la National Asphalt Pavement Association (2002) las propiedades de los agregados son extremadamente relevantes, ya que el contacto piedra sobre piedra es la columna vertebral de las mezclas S.M.A. La dureza de agregados y su forma son inclusive más importantes que en mezclas densamente graduadas, hasta la fecha la mayoría de mezclas S.M.A. han usado agregado triturado (forma artificial).

b) Filler.

Como lo hace notar Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman (2006) se precisa como un material fino que tiene un pasante mínimo de 65% por el tamiz N°200.

El filler desempeña la función de rellenar los vacíos dejados por los áridos gruesos mejorando la solidez de la mezcla, además de aportar una mejor trabajabilidad, impermeabilidad y durabilidad. Al mejorar la viscosidad del ligante también incrementa la resistencia a la deformación como afirma Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman (2006).

c) Ligante asfáltico.

Empleando las palabras de Rondón Quintana & Reyes Lizcano (2015) los ligantes asfálticos tienen su origen en la destilación del crudo del petróleo, que puede ser en su forma natural o



industrial. Estos productos ligan los agregados para obtener mezclas asfálticas y tienen la función de proporcionar al aglomerado una oposición mecánica a las fuerzas producidas por cargas estáticas y cíclicas, además de una mejor durabilidad, resistencia al paso de agua y aire. Los ligantes asfálticos más conocidos son los siguientes:

- Cemento asfáltico
- Emulsiones asfálticas
- Asfaltos rebajados
- Asfaltos modificados o multigrados
- Asfaltos espumados
- Crudos pesados
- Asfaltitas o asfaltos naturales

Con base en National Asphalt Pavement Association (2002) en proyectos anteriores de S.M.A. en los Estados Unidos se utilizaba el mismo grado de cemento asfáltico (ligante) como en el convencional H.M.A. como grados AC-10, AC-20 o AC-30 en viscosidad. La tendencia actual es usar un aglutinante que cumpla con la clasificación PG, una calificación superior a las recomendadas para el área geográfica por Super Pave.

d) Agente Estabilizante.

Empleando las palabras de Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman (2006) la principal problemática de estas mezclas es el escurrimiento del ligante ocasionando que en la parte superior del pavimento se originen películas delgadas de asfalto.

Esta mezcla discontinua posee vacíos en su modelo estructural que son llenado con una masilla de finos que posee alta viscosidad. El agente estabilizador proporciona una rigidez al producto.

Los añadidos estabilizadores suelen ser fibras, cauchos, polímeros, carbón negro o la misma mezcla entre ellos, la inserción de la mezcla tiene como función principal rigidizar la masilla de finos a elevadas temperaturas como afirma de Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman (2006).

Como expresa National Asphalt Pavement Association (2002) como agente estabilizante se puede usar celulosa o fibra mineral, varios estudios han comprobado que el uso de asfalto modificado con polímeros aglutinantes junto con la fibra incrementan la resistencia al ahuellamiento como el agrietamiento por fatiga.



2.2.1.7. Grano de caucho reciclado (GCR)

Según el Instituto de Desarrollo Urbano (2013) el grano de caucho reciclado podrá ser el resultado del lacerado de la huella de neumáticos de camión o vehículos livianos en la fase de reencauche, o del cortado de llantas. El GCR tiene que ser homogéneo, no debe incluir metales, fibras textiles u otros contaminantes, y deberá estar seco.

Figura 6

Grano de Caucho Reciclado



Fuente: (García, 2016)

2.2.1.7.1. Características.

Con base en Ladino Oyola & Rubiano Quiroga (2017) las ventajas del caucho natural que brinda a las ruedas de los vehículos son una adherencia por encima de alguna clase de superficie, una gran maleabilidad y una resistencia a agentes mecánicos, beneficios que permiten que a la fecha continúe siendo una parte relevante para la industria de neumáticos, su empleo en la producción mundial ronda el 70% aproximadamente. La contribución del látex de los neumáticos se convierte en un superior comportamiento elástico.

En cambio el caucho sintético derivado del petróleo, permitieron optimizar demás características de los neumáticos, como pueden ser: incrementar el tiempo de vida útil e incrementar el nivel de adherencia. Además que al introducirse en los ligantes asfálticos tienen otras mejoras como la susceptibilidad térmica y en general sus propiedades reológicas contribuyendo a la obtención de un cemento asfáltico con punto de fluidez intermedio.

2.2.1.7.2. Fabricación.

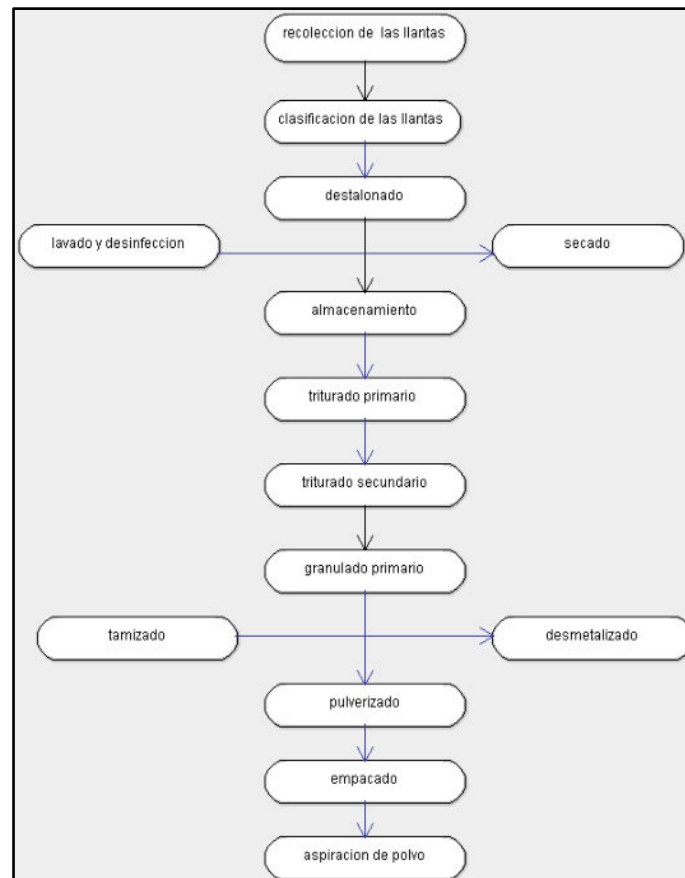
Empleando las palabras de Reciclaje de llantas usadas (s.f) es necesario para el reciclaje de neumáticos llevar a cabo las siguientes fases:



- Destalonamiento: proceder con la extracción de alambres de acero del cuerpo del neumático
- Trituración: reducir el volumen de los neumáticos en partículas mucho más pequeñas a través de una trituración primaria para posteriormente terminar de triturarlo en un proceso secundario
- Granulación primaria: es el primer proceso para reducir el volumen de los neumáticos en trozos.
- Granulación secundaria (refinar el grano): para obtener un grano aún más fino y seleccionar los granos en base a su tamaño
- Desmetalizado (separación magnética del acero): Esta es una unidad que se emplea para separar el fierro de los demás materiales.
- Aspiración de polvos (limpieza): son los sistemas de extracción para la aspiración de polvos de tela y de goma. Este proceso conlleva varios equipos el reductor de polvos por ciclón, electro aspirador, roto válvulas y demás filtros. (pág. 3)

Figura 7

Diagrama de Flujo de Reciclaje de Llantas



Fuente: (García, 2016)



2.2.1.7.3. Componentes.

Tal como Diaz Claros & Castro Celis (2017) mencionan que los neumáticos son el producto de tres elementos: el caucho natural y sintético, acero y fibra textil. A su vez el caucho esta formado por un grupo de polímeros (compuestos químicos con un elevado peso molecular) como son el polisopreno sintético, el politutadieno y en general el estireno-butadieno, todos utilizados en hidrocarburos.

Tabla 11

Composición y Características de los Diferentes Tipos de Neumáticos

Composición	Automóviles y camionetas	Camiones y microbuses
Caucho natural	14 %	27 %
Caucho sintético	27%	14%
Negro de humo	28%	28%
Acero	14 - 15%	14 - 15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%	16 - 17%
Peso promedio:	8,6 kg	45,4 kg
Volumen	0.06 m ³	0.36 m ³

Fuente: (Rubber Manufactures Association, s.f)

2.2.1.7.4. Especificaciones técnicas.

Tabla 12

Características del Grano de Caucho Reciclado

Característica	Requisito
Humedad	- Máximo 0.75 % de la masa total de la mezcla. - El GCR debe fluir libremente
Gravedad específica	1.15 + 0.05
Contenido de metales no ferrosos	No debe haber presencia visible
Contenido de metales ferrosos, en masa	Máximo 0.01%
Contenido de fibra en masa, en masa:	Máximo 0.5%
- Para mezclas en caliente	Máximo 0.1%
- Para riegos	
Contenido de polvo mineral (como talco): se suele usar para prevenir que los granos se peguen	Máximo 4.0%
Contenido total de otros elementos extraños, en masa; incluye:	
- Vidrio	Máximo 0.25%
- Arena	
- Madera, etc	

Fuente: (Instituto Nacional de Vias, 2012)



2.2.1.8. Ensayo de rueda carga de hamburgo - AASHTO T-324

De acuerdo con el Instituto Mexicano Del Transporte (2018) el objetivo es determinar la susceptibilidad a la humedad y formación de roderas. De igual manera determinar la falla prematura de las mezclas asfálticas en caliente debido a la debilidad de la estructura de agregado, una rigidez inadecuada del ligante asfáltico.

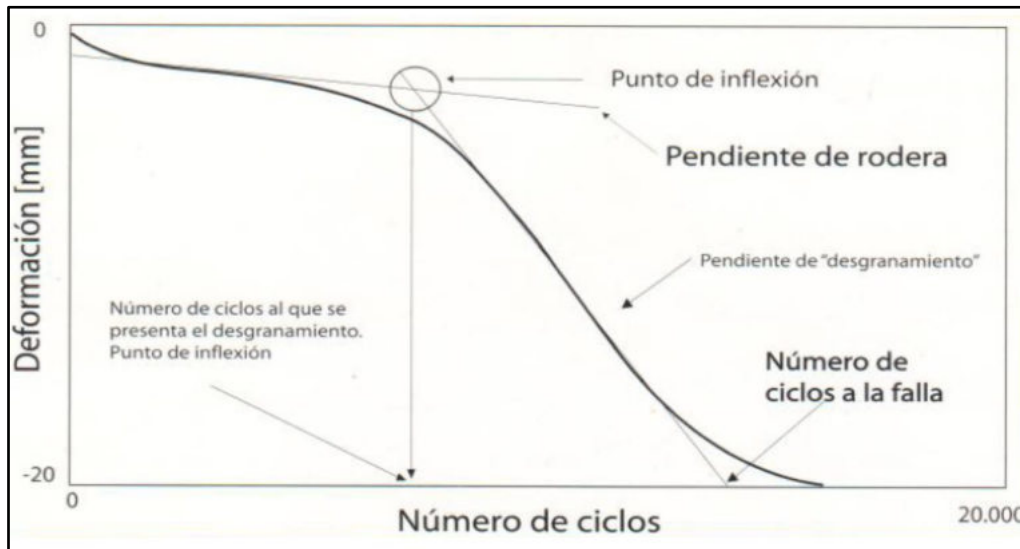
De la Cruz Bazán & Porras Zavala (2015) indican que este método emplea un equipo compuesto por dos ruedas de acero que se mueven axialmente sobre los especímenes asfálticos elaboradas en laboratorio o sobre un corazón extraída del campo de 250 mm de diámetro. La carga en cada rueda es de 158 lb, con una presión de contacto de 217 psi (equivalente a 98.066 kPa). Los especímenes son sumergidos en su totalidad en agua probados a temperatura de 50° C, el cual debe mantener la temperatura durante toda la prueba, y así determinar la susceptibilidad a la humedad de la mezcla.

El ensayo se corre a 20000 ciclos o una deformación límite de 20 mm, donde la velocidad de la rueda es de 30 cm por segundo. El criterio general de falla en la especificación es definido a 4 mm de deformación máxima en autopistas y 2.5 mm en zonas industriales. Al presentar una alteración en la pendiente en la ejecución del ensayo, el punto de inflexión muestra el instante en donde la muestra presentará susceptibilidad al daño por humedad, a partir del cual empieza la zona de desgranamiento.

Como indica Torres Velázquez, Hernández Villares, Romero Zepeda & Torres Verdín (2016) La curva deformación-pasadas obtenida con el ensayo de la rueda cargada de hamburgo muestra tres puntos: Pendiente de rodera o pendiente de fluencia, punto de inflexión y pendiente de desgranamiento. La pendiente de rodera se muestra antes de que inicie la pendiente de desgranamiento. En esta zona es donde puede mostrar la deformación por rodera y el flujo plástico de la mezcla. La pendiente de desgranamiento es un indicador del grado de severidad del daño por humedad. El punto de inflexión está relacionado con la resistencia de la mezcla por efecto de humedad. (pág. 101)

Figura 8

Gráfica Esquemática Deformación-Pasadas (Ciclos) por Susceptibilidad a la Humedad



Fuente: (Torres Velázquez, Hernández Villares, Romero Zepeda, & Torres Verdín, 2016)

2.2.1.9. Costos y Presupuestos.

2.2.1.9.1. Costos directos e indirectos.

En palabras de la Cámara Peruana de la Construcción (2003) los costos directos se pueden decir que son aquellos gastos que se aplican a una determinada partida mientras los costos indirectos no pueden aplicarse a una partida por no tener una relación con ella, sino mantiene una relación con el conjunto de la obra.

2.2.1.9.2. Costos directos

El costo directo es la suma de los costos referido a materiales, mano de obra (incluyendo leyes sociales), equipos, herramientas y todo aquello necesario para la ejecución de la obra. En cuanto las cantidades de materiales se establecen de acuerdo con un estudio técnico, referencia también de publicaciones especializada o registros directos de obra así lo afirma la Cámara Peruana de la Construcción (2003).

2.2.1.9.3. Costos indirectos

Así también la Cámara Peruana de la Construcción (2003) menciona que se clasifica en Gastos Generales y Utilidad.

Los Gastos Generales son aquellos que efectúa el contratista durante la construcción, derivados de la propia actividad empresarial del mismo, no pudiendo ser incluidas dentro de las partidas de obra.



La utilidad es el monto percibido por el contratista, porcentaje del Costo Directo del Presupuesto, que forma parte del movimiento económico general de la empresa teniendo el fin de dar dividendos, capitalizar, reinvertir, pagar impuestos relativos a la misma utilidad o incluso cubrir pérdidas de otras obras.

2.2.1.9.4. Análisis de precios unitarios

Como dice Vivar (2021) es una técnica de estimación vinculada a los paquetes de trabajo más pequeños que también se suele llamar partida, la misma integra el análisis de estimación de las áreas de alcance, tiempo y costo, sin dejar de lado la estimación considerando riesgo, recursos y calidad.

2.2.2. Método.

2.2.2.1. Método de prueba en el ensayo de rueda cargada de Hamburgo.

2.2.2.1.1. Equipo y herramientas.

Como indica el Instituto Mexicano Del Transporte (2018), se conforma mediante:

- Máquina de rueda cargada de hamburgo, de accionamiento eléctrico capaz de mover una rueda de acero de 47.0 mm de ancho y 203.2 mm de diámetro, sobre el espécimen de prueba.
- Control de sistema de temperatura, capaz de controlar la temperatura del agua dentro del equipo, en un rango de 25 a 70 ± 1 °C.
- Sistema de medición de rodera, dispositivo transductor de desplazamiento (LVDT) con un rango de medición entre 0 y 20 mm, capaz de medir la profundidad de la rodera al centro ± 1.27 mm (0.5 in) a lo largo de la trayectoria de la rueda, con una aproximación de 0.15 mm.
- Contador de paso de rueda, un solenoide que cuenta la pasada de la rueda sobre el espécimen.
- Sistema de montaje del espécimen de losa de acero inoxidable que se monta rígidamente a la máquina.
- Sistema de montaje de espécimen cilíndrico, conformado por dos moldes de polietileno de alta densidad o yeso blanco, para asegurar el espécimen.
- Compactador de amasado lineal hidráulico, que utiliza una serie de placas de acero alineadas verticalmente para compactar mezclas asfálticas moldeadas en placas planas y rectangulares de grosor y densidad predeterminados.



- Compactador Giratorio electromecánico, electrohidráulico o electroneumático capaz de girar a 30 ± 0.5 rpm y producir un ángulo de giro interno constante de 1.16 ± 0.02 ° durante el proceso de compactación.
- Sierra automatizada para corte de muestras.

2.2.2.1.2. Preparación del equipo.

Prender el equipo y acondicionar el agua a una temperatura de ensayo 50°C.

2.2.2.1.3. Preparación del espécimen.

a) Especímenes en laboratorio.

- Se elabora 4 especímenes cilíndricos de diámetro 150 mm y con un contenido de vacíos de 7 ± 0.5 %, con un espesor de por lo menos el doble del tamaño nominal del agregado, comúnmente entre 38 a 100 mm de espesor.
- Según el método de prueba elaborar y compactar los especímenes asfálticos, mediante el compactador giratorio.

b) Corte transversal de especímenes.

- Empleando una sierra cortar los especímenes con una sierra a una distancia de 16 mm al centro de la probeta al borde exterior. Comprobando el tamaño con el tamaño de los moldes.

c) Determinación del contenido de vacíos.

- De acuerdo con las especificaciones del método de prueba determinar la gravedad específica bruta del espécimen (G_{mb}) y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla (G_{mm}).
- Determinar el contenido de vacíos del espécimen mediante.

$$Va\% = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} * 100$$

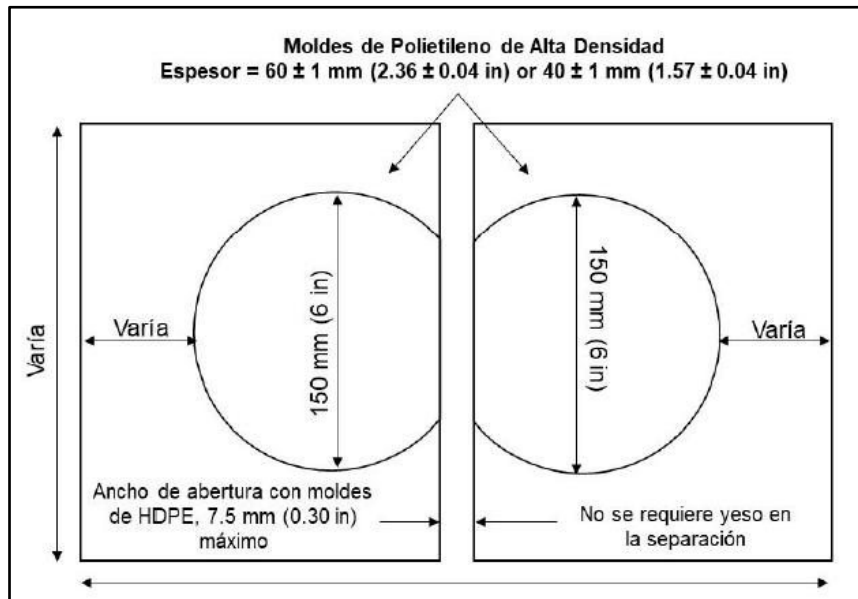
2.2.2.1.4. Ejecución de la prueba.

a) Especímenes en laboratorio.

- Colocar los especímenes en los moldes de polietileno. De existir espacio entre los especímenes y el molde utilizar una mezcla yeso-cemento para llenar los vacíos.
- Colocar los moldes con los especímenes en el equipo y ajustar la altura según las indicaciones del fabricante.
- De no contar con molde de polietileno, utilizar otro material de montaje que soporte al menos 890 N (200 lb) de carga sin presentar fracturas.

Figura 9

Dimensiones de moldes de polietileno de alta densidad



Fuente: (Instituto Mexicano Del Transporte, 2018)

2.2.2.2. Método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas.

De acuerdo Minaya y Ordoñez (2001) en torno al año 1939 el ingeniero de asfalto Bruce Marshall perteneciente al Mississippi Highway Department logro crear el método Marshall, para que posteriormente en el año 1943 The Corps of Engineers Waterways (WES) de Estados Unidos continúe la investigación y concrete el ensayo tal como lo conocemos. (pág. 102)

2.2.2.2.1. Objetivo del método Marshall.

Consiste en la elaboración y compactación de mezclas bituminosas con un espesor y diámetro estandarizados de 64 mm y 102 mm respectivamente, a partir del cual se logra diseñar una mezcla bituminosa y medir el desempeño de algunos de sus parámetros por medio de este método. (MTC E504, 2016, pág. 583)

Como nos dice también Minaya & Ordoñez (2001) el método Marshall especifica las dimensiones de los especímenes con un espesor (2.5 pulgadas) y un diámetro (4 pulgadas), además que deben compartir la misma granulometría y variar el contenido de asfalto en cada uno de ellos, llevándose a cabo un procedimiento específico para su mezclado y compactado. (pág. 103)



2.2.3. Procedimientos.

2.2.3.1. *Diseño de mezclas asfálticas S.M.A.*

Como indica el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) la preparación de especímenes se regirá de acuerdo con la normativa MTC E 504.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) menciona que las probetas asfálticas preparadas mediante esta normativa son utilizadas para medir el desempeño de la mezcla bituminosa a través de pruebas de estabilidad, flujo, resistencia a tracción indirecta y módulos. No obstante, también se utilizan para la evaluación de sus propiedades volumétricas. (pág. 583)

2.2.3.1.1. *Procedimiento de Fabricación de Probetas del Método Marshall.*

Como indica el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) el método consistirá en la elaboración de especímenes cilíndricos de 4" de diámetro por 2.5" de espesor.

1. Numero de probetas. Se elaborarán un determinado número de especímenes que varíen el contenido asfalto en un 0.5%, a manera de obtener un gráfico que describa una curva, para luego definir un valor óptimo.
2. Cantidad de materiales. Se necesitará alrededor de 1.2 kg de agregados para una muestra, asimismo se deberá incrementar esa cantidad para los ensayos de granulometría y peso específico.
3. Preparación de los agregados. Los áridos serán distribuidos por tamizado en los tamaños de partículas deseados, no sin antes ser secado a una temperatura que oscile 105°C y 110°C.
4. Temperaturas de mezcla y compactación. Para el mezclado el ligante deberá tener una viscosidad de 170 – 20 centistokes (1 centisok = 1mm/S), lo cual indicará la temperatura ideal. Para la temperatura en el proceso de compactación la viscosidad debe oscilar entre 280-30 centistokes.
5. Preparación de las mezclas. Se deberán tener previamente en bowls separados los agregados ya calentados a una temperatura de 28°C arriba de la temperatura de compactación.
Para su mezclado se deberá formar los áridos en forma de volcán, de manera que el ligante ingrese en el centro para posteriormente mezclarlo con una espátula, este proceso se realizará hasta que la mezcla este homogénea.
6. Al mismo tiempo que se prepara la mezcla, limpiar el collar, placa base y el martillo de compactación, para luego calentarlo de manera que oscile entre 93 °C y 149 °C, este



procedimiento podrá llevarse a cabo con un horno o agua. Armar el molde de compactación, sujetar por medio del soporte de fijación y colocar en el fondo del molde papel filtro previo al colocado de la mezcla.

7. Verte el preparado en el molde para su posterior compactado que deberá realizarse al contorno del perímetro 15 veces y 10 veces en su interior. Posteriormente retirar el collar para el respectivo nivelado de la cara superior de la mezcla.
8. Colocar en el pedestal de compactación el molde de compactación armado y aplicar 35, 50 o 75 golpes de acuerdo al caso (de no especificar, usar 50 golpes y 75 golpes si es asfalto liquido), según al tránsito de diseño. Se deberá colocar el martillo perpendicular a la base para dejarlo caer en una caída libre de 18" en cada golpe, luego se quitará la base, el molde para invertirlo y repetir el mismo procedimiento en esa cara
9. Quitar la base y dejar enfriar el espécimen compactado al aire, concluida el proceso de compactación, por un tiempo prudente para evitar deformaciones al extraerlas del molde. Pudiendo emplear ventiladores para conseguir que se enfríe más rápido, pero jamás utilizando agua a menos que la muestra este impermeabilizada mediante bolsas plásticas. Ya extraídos las muestras mediante el eyector de muestras dejar enfriar en una superficie plana.

2.2.3.1.2. Requerimientos para diseño de mezcla S.M.A.

Minaya & Ordoñez (2006) toma en cuenta 05 fases, para el diseño de S.M.A.

1. Elección de aridos como materiales.
2. Evaluar la granulometría de los aridos.
3. Garantizar que la granulometría seleccionada cumpla los requisitos mínimos de VMA o admita el empleo de la proporción mínima de cemento asfáltico.
4. Selección del contenido de cemento asfáltico que abastezca el nivel requerido de porcentaje de vacío de aire.
5. Determinar la susceptibilidad a la humedad y la sensibilidad al escurrimiento.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) menciona que para las mezclas S.M.A. deberá cumplir con las exigencias que se describen en la tabla siguiente:



Tabla 13

Requisitos Mínimos para el Diseño de Mezclas S.M.A.

Ensayos	Requerimiento
Compactación Marshall	50 golpes por cara
Compactación Superpave	75 a 100 giros, dependiendo del Proyecto
Vacíos de aire totales	2% (climas fríos) 4% (climas templados y cálidos)
Vacíos agregado mineral (VAM)	$\geq 17\%$
VCA mezcla, % (1)	< Que VCA varillado
Contenido de ligante en peso total de la mezcla	$\geq 6,5 \%$
Contenido de fibras celulósicas en peso total de la mezcla	$\geq 0.3 \%$
Escurrecimiento de ligante a la temperatura de mezclado	$\leq 0.3 \%$

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

De acuerdo Minaya & Ordóñez (2006) las especificaciones para mezclas asfálticas S.M.A. a través del diseño Superpave o Marshall son las siguientes:

Tabla 14

Especificaciones de Mezclas asfálticas S.M.A. para Diseño Marshall NAPA 2002

Propiedades	Especificación
Cemento asfáltico, %	6 min*
Vacíos de aire, %	4
VMA, %	17 mín**
VCA, %	Menor que VCA_{DRC}
Estabilidad, kg	632 mín***
TSR, %	70 mín
Escurrecimiento a T°producción, %	0.30 máx
* El mínimo porcentaje de cemento asfáltico puede reducirse ligeramente si la gravedad específica bulk del agregado excede 2.75 ** VMA mínimo durante la producción *** Valor de la estabilidad sugerido, basado en la experiencia	

Fuente: (Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman, Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, 2006)



Tabla 15

Especificaciones de Mezclas asfálticas S.M.A. para Diseño con Compactador Giratorio Superpave AASHTO MP8 Y NAPA 2002

Propiedades	Especificación
Cemento asfáltico, %	6 min*
Vacíos de aire, %	4
VMA, %	17 mín**
VCA, %	Menor que VCA _{DRC}
TSR, %	70 mín
Eskurrimiento a T°producción, %	0.30 máx
* El mínimo porcentaje de cemento asfáltico puede reducirse ligeramente si la gravedad específica bulk del agregado excede 2.75 ** VMA mínimo durante la producción	

Fuente: (Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman, Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, 2006)

Se empleará el método Marshall, para la producción especímenes asfálticos S.M.A. puesto que se cuenta con el equipamiento requerido para su producción, debido a no contar con el compactador giratorio Superpave, por consiguiente, se considera los requisitos de la tabla 14.

2.2.3.1.3. *Requerimientos para materiales.*

a) *Agregado grueso.*

Los áridos gruesos necesitan cumplir con los requerimientos siguientes:

Tabla 16

Requerimientos Mínimos para Agregado Grueso S.M.A

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		= < 3.000	> 3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	15% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	25% máx.	20% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	-
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 221	25% máx.	15% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	100/90	100/90
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 206	2,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)



Tabla 17

Especificaciones Mínimas de Calidad para Agregado Grueso S.M.A.

Ensayo	Método	Especificación
Abrasión Los Angeles, % pérdida	AASHTO T 96	30* máx.
Chatas y Alargadas, % 3 a 1 5 a 1	ASTM D 4791	20 máx. 5 máx.
Absorción, %	AASHTO T 85	2 máx.
Durabilidad (5 ciclos), % Sulfato de Sodio Sulfato de Magnesio	AASHTO T 104	15 máx. 20 máx.
Caras fracturadas, % Una cara Dos caras	ASTM D 5821	100 mín. 90 mín.

Fuente: (Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman, Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, 2006)

b) *Agregado fino.*

Los principales requisitos que deben cumplir el agregado fino son:

Tabla 18

Requerimientos Mínimos para Agregado Fino S.M.A

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		= < 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	15% máx.	15% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)



Tabla 19

Especificaciones Mínimas de Calidad para Agregado Fino S.M.A.

Ensayo	Método	Especificación
Durabilidad, pérdida % Sulfato de Sodio Sulfato de Magnesio	AASHTO T 104	15 máx. 20 máx.
Angularidad, %	AASHTO TP33 (Mét. A)	45 mín.
Límite Líquido, %	AASHTO T 89	25 máx.
Índice de Plasticidad	AASHTO T 90	N.P.

Fuente: (Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman, Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, 2006)

c) Filler.

Según Minaya & Ordóñez (2006), es un material que tiene un pasante de 65% mediante el tamiz n°200.

En su mayoría los materiales de relleno que pasan mediante el tamiz n°200 (0.75mm) son parcialmente gruesos, ya que son mayores que 0.40mm, logrando reducir el porcentaje de vacíos empleando el material en rellenar los vacíos y variando el óptimo contenido de ligante. Las partículas de los agregados son recubiertas por una película ocasionado por el filler al actuar como un ligante asfáltico.

d) Asfalto.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) alude que se empleará cemento asfáltico como material bituminoso, definiendo el grado de acuerdo con las condiciones meteorológicas, tránsito y estructura del proyecto. Garantizando que cumpla con los requerimientos de las mezclas bituminosas en caliente y brindando los datos siguientes:

- La viscosidad rotacional a 60°C del asfalto envejecido en el ensayo de película delgada rotatoria dividido por la viscosidad rotacional a 60°C del asfalto original, debe ser menor o igual a 3.
- Perfil de viscosidades rotacional a temperaturas de 100°, 135° y 150°C.
- Punto de Ablandamiento.
- Rango de temperaturas de mezclado y compactación.
- Temperatura máxima de calentamiento.
- Viscosidad a 60°C después del ensayo de película delgada rotatoria.



e) *Agente estabilizante.*

Se empleará la fibra celulosa de papel bond como agente estabilizante, al 0.3% del peso total del espécimen asfáltico, tomando como referencia nuestro segundo antecedente a nivel nacional.

f) *Gradación S.M.A.*

Según Minaya & Ordóñez (2006), las cargas de tráfico en el Stone Mastic Asphalt son toleradas debido al agregado grueso por el contacto de las partículas piedra con piedra, teniendo lo contrario en las mezclas asfálticas densas por una matriz arenosa conformada.

Las distintas proporciones de áridos, considerando el filler, se combinarán en porcentajes de manera que la mezcla adquirida cumpla alguna banda granulométrica especificada en la Tabla 20.

Las especificaciones se realizarán según el ensayo MTC E 204.

Tabla 20

Limites Granulométricos de S.M.A. de acuerdo al TMN (% Pasantes por Tamiz)

Tamiz		Porcentaje que pasa			
		Tamaño máximo 20 mm	Tamaño máximo 12,5 mm	Tamaño máximo 10 mm	Tamaño máximo 5 mm
25,0 mm	1"	100	-	-	-
19,0 mm	¾"	90-100	100	-	-
12,5 mm	½"	45-60	90-100	100	-
9,5 mm	3/8"	30-45	60 máx.	90-100	-
6,3 mm	¼"	-	-	-	100
4,75 mm	N.º 4	20-25	30-40	26-60	90-100
2,5 mm	N.º 8	16-23	20-27	20-28	30-40
75 µm	N.º 200	9-13	9-13	9-13	9-13

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

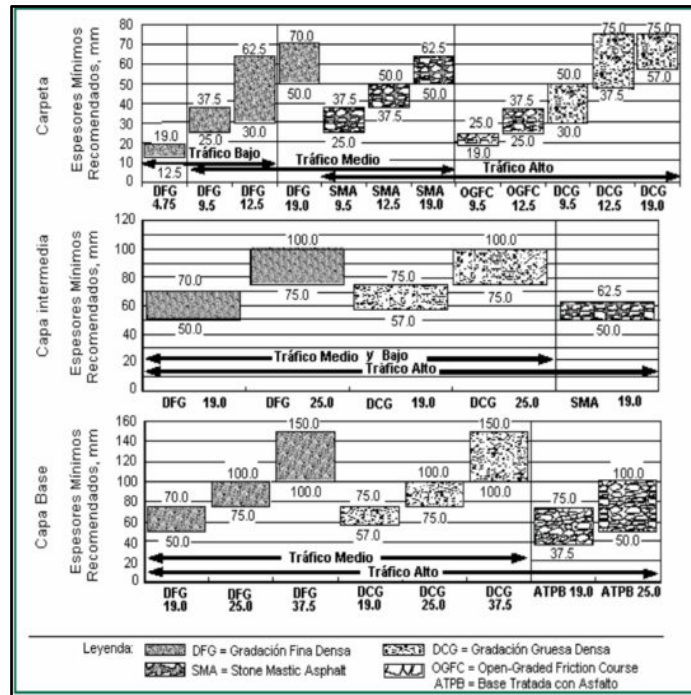
g) *Selección de gradación según espesores mínimos para una mezcla S.M.A.*

De acuerdo a Minaya & Ordóñez (2006) el objetivo de las mezclas S.M.A. es reducir las deformaciones permanentes e aumentar su resistencia. Esta mezcla es únicamente empleada en tráfico alto por su superficie gruesa, asimismo en tráfico lento con cargas pesadas empleadas en las capas intermedias.



Figura 10

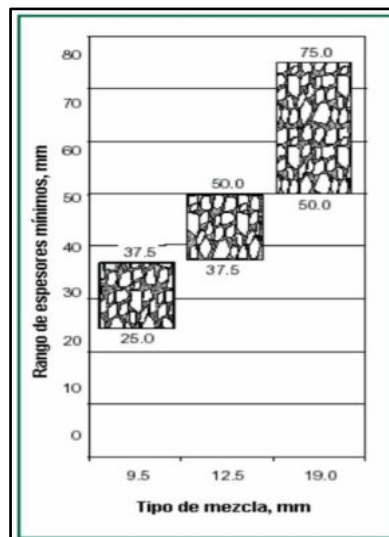
Espesores Mínimos Recomendados de Capa de Acuerdo con el Tipo de Mezcla Asfáltica Relacionado al TMN del Árido



Fuente: (Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman, Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, 2006)

Figura 11

Espesores Mínimos Recomendados relacionado al TMN del Árido para Mezclas S.M.A.



Fuente: (Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman, Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, 2006)

De acuerdo con el uso de la vía dependerá el espesor empleado.



Tabla 21

Aplicaciones en Capas de Pavimento de Mezclas S.M.A.

Tamaño máximo nominal del agregado	Mezcla propuesta		
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm
Capa superficial	Desgaste superficial Fricción Estructura Lisura		
Capa intermedia	No	No	Estructura

Fuente: (Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman, Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, 2006)

El diseño de mezclas asfálticas S.M.A. se ejecutará con un diseño de acuerdo con el TMN $\frac{3}{4}$ " (19mm).

Las diferentes proporciones de agregados, ya sea agregado grueso y fino, asimismo de añadir el filler, se mezclará en proporciones con la finalidad de que la mezcla obtenida satisfaga con los parámetros granulométricos de TMN $\frac{3}{4}$ ", indicado en la Tabla 20.

Para seleccionar la proporción óptima de áridos que satisfagan los límites granulométricos, considerando distintas referencias, como:

- Minaya Gonzalez & Ordoñez Huaman (2006) indica que el Ministerio de Transportes de Alemania, implementó utilizar la proporción 75% de piedra de 5 a 8mm, 15% de arena, 10% de filler y 7% de ligante bituminoso.
- Minaya Gonzales & Ordóñez Huamán (2006) menciona en el VIII CONGRESO NACIONAL DEL ASFALTO, que las mezclas S.M.A. comprende una gran proporción de grava (70-80%), alta proporción de finos (10%) y menor proporción de arenas.
- Blazejowski (2011) indica que la proporción aproximada que se realizó JRS, en su primera elaboración de mezclas considero, 70 % agregado Grueso, 12% arena chancada, 10.5% filler.
- Blazejowski (2011) según ZTV Asphalt-StB 07, indica que el contenido de agregado grueso varía entre 70-80%
- Martins de Reis, Bariani Bernucci, del Águila Rodriguez, Sheigui, & Lamaro Zanon (s.f.) indican que la composición de las mezclas S.M.A. es 75% áridos gruesos, 15% áridos finos y 10% de filler mineral.



- Colares do Vale, Toé Casagrande, & Barbosa Soares, (2007) mencionan que las mezclas Stone Matrix Asphalt (S.M.A.) fueron creadas en Alemania en 1968, y que su composición era de 75% áridos gruesos, 15% áridos finos y 10% de filler mineral.

2.2.3.1.4. Procedimiento para diseño de S.M.A.

a) Selección de la gradación.

Sanchez Sabogal (2009) menciona que para el TMN seleccionado se determina 3 potenciales gradaciones dentro de los requerimientos de la franja maestra.

La malla que separa el árido grueso del fino, se le conoce malla de punto de corte.

Tabla 22

Malla de Punto de Corte para distintos TMN según S.M.A.

Gradación TMN	Tamiz del “punto de corte”
25.0 mm	4.75 mm
19.0 mm	4.75 mm
12.5 mm	4.75 mm
9.5 mm	2.36 mm

Fuente: (Sanchez Sabogal, 2009)

b) Determinación de los Vacíos en el Agregado Grueso

Como indica Sanchez Sabogal (2009) se ejecuta esta prueba para determinar que existe la fricción entre partícula y partícula del árido grueso.

Utilizando el peso unitario apisonado (AASHTO T 19) y la gravedad específica bulk del árido grueso (G_{ca}), se halla los VAG.

$$VCA_{drc} = \frac{G_{ca}\gamma_w - \gamma_s}{G_{ca}\gamma_w} * 100$$

Donde:

- VCA_{drc} : Vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado.
- γ_s : Peso Unitario de la fracción del Agregado Grueso en condición seco-rodillado (Kg/m³)
- G_{ca} : Gravedad Especifica Bulk del Agregado Grueso.
- γ_w : Peso Unitario del Agua (998 Kg/m³)



c) *Selección del Contenido de Asfalto de Prueba*

Se realizará diferentes ensayos para obtener al contenido óptimo, y así escoger el contenido de asfalto de prueba.

Sanchez Sabogal (2009) menciona que el porcentaje mínimo efectivo de ligante es 6% para S.M.A., recomendando que el porcentaje de ligante de la mezcla sea en la fase de elección de la gradación.

Tabla 23

Proporción de Ligante en Porcentajes para Diferentes TMN

Gradación TMN	Contenido de Asfalto
25.0 mm	6%
19.0 mm	6%
12.5 mm	6.7%
9.5 mm	7%

Fuente: (Sanchez Sabogal, 2009)

d) *Preparación de las mezclas en la fase de selección*

Como indica Sanchez Sabogal (2009) se necesita un total de 12 especímenes:

- 4 especímenes para emplearse en cada una de las 3 gradaciones de prueba.
- Mezclar cada espécimen con el porcentaje de aligante de prueba.
- Utilizar 3 especímenes de los 4 especímenes para cada gradación, compactar mediante 100 giros empleando el Compactador Giratorio Superpave o mediante 50 golpes por cara, de acuerdo con el método Marshall.

Determinar la gravedad específica máxima medida (Gmm), con la cuarta mezcla de cada gradación (AASHTO T 209).

e) *Selección de la gradación deseada u óptima*

Sanchez Sabogal (2009) menciona determinar la gravedad específica bulk de los especímenes compactados (Gmb).

Calcular el promedio de contenido de vacíos con aire (Va), vacíos en el árido grueso (VAGmix) y vacíos en los áridos minerales (VAM), para cada gradación.



Las mezclas ensayadas con la mayor proporción pasante por el tamiz punto de quiebre, se considerará gradación deseada, pero así mismo debe satisfacer los requisitos de VAM mínimos y que los $VAG_{mix} < VAG_{drc}$.

$$V_a = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) * 100$$

$$VCA_{mezcla} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{ca}}\right) * P_{ca}$$

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}}\right) * P_s$$

Donde:

- G_{ca} : Gravedad Especifica Bulk del Agregado Grueso.
- G_{mb} : Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.
- G_{mm} : Gravedad Especifica Teórica Máxima de la mezcla.
- G_{sb} : Gravedad Especifica Bulk de la combinación de Agregados.
- PCA: Porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla.
- P_s : Porcentaje de Agregado en la mezcla.

f) Selección del contenido óptimo del ligante

Sanchez Sabogal (2009) indica que, seleccionada la gradación deseada, se fabrican nuevas mezclas considerando 3 porcentajes de asfalto, comprendiendo valores superiores e inferiores de la proporción de prueba.

National Asphalt Pavement Association (2002) menciona que para mezcla S.M.A. el contenido mínimo de asfalto deseado es 6% del total del peso de la mezcla. Recomendando diseñar primeramente con un contenido de asfalto que supere el 6%, con el objetivo de corregir por si cae por debajo del mínimo en su producción.

Sanchez Sabogal (2009) indica preparar 4 especímenes de muestras, 3 compactado con la etapa de elección y la cuarta utilizada en hallar la gravedad específica máxima medida (G_{mm}).

Empleando 4% de contenido de vacíos con aire se determina la proporción óptimo de ligante, garantizando siempre los VAM mínimos y $VAG_{mix} < VAG_{drc}$.



g) *Ensayo de escurrimiento*

De acuerdo con Sanchez Sabogal (2009) la prueba se ejecuta en referencia con la norma AASHTO T 305.

La muestra asfáltica es colocada en una canastilla de malla $\frac{1}{4}$ " , y colocada en un horno durante hora, para luego realizar su pesaje del material escurrido, garantizando que cumple con el máximo determinado de 0.3%, y en caso de sobrepasar se incrementa mayor porcentaje de fibra.

Figura 12

Canasta de abertura de $\frac{1}{4}$ "



Fuente: (Sanchez Sabogal, 2009)

Figura 13

Disposición de Muestra en Horno



Fuente: (Sanchez Sabogal, 2009)



Figura 14

Escurrecimiento de Mezcla sin Fibras, a 158° C



Fuente: (Sanchez Sabogal, 2009)

Figura 15

Escurrecimiento de Mezcla con 0.3% de Fibra, a 158° C



Fuente: (Sanchez Sabogal, 2009)

h) Evaluación de la sensibilidad a la humedad

De acuerdo con Sanchez Sabogal (2009) se determina por medio de la prueba de tensión indirecta, el cual se somete las probetas a compresión hasta su punto de quiebre mediante dos generatrices contrarias, a velocidad de 50 mm/minuto de deformación con temperatura de 25° C. Esta carga efectuada ocasiona tensión en el eje vertical por el esfuerzo horizontal y compresión en el diámetro horizontal, teniendo el punto de quiebre por agrietamiento ocasionada por la tensión en todo el diámetro vertical.

$$S_t = \frac{2000 * P}{\pi * D * t}$$



Donde:

- S_t : Resistencia a la Tensión Indirecta (KPa).
- D: Diámetro de la probeta (mm).
- P: Carga Máxima (N).
- t: Espesor de la probeta (mm).

El TSR se determina mediante los valores de resistencia a la tensión indirecta de especímenes sumergidos y especímenes secos.

$$TSR = \frac{\text{Resistencia a la Tensión prom. Mojada}}{\text{Resistencia a la Tensión prom. Seca}}$$

Se requiere por lo menos 70% de TSR, para considerar que la mezcla sea optima.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general.

H_i : La estabilidad Marshall, la deformación permanente y costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.

H_o : La estabilidad Marshall, la deformación permanente y costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado no presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.

2.3.2. Sub hipótesis.

a) H_i : La estabilidad Marshall de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.

H_o : La estabilidad Marshall de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado no presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.

b) H_i : La deformación permanente de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.

H_o : La deformación permanente de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado no presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.

c) H_i : Los costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.

H_o : Los costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado no presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.



2.4. Definición de variables

2.4.1. Variables independientes.

X1: Mezcla S.M.A. (Stone Mastic Asphalt): Diseño de una mezcla asfáltica conformada por agregado grueso, agregado fino, ligante asfáltico PEN 85/100 y fibra celulosa de papel bond.

2.4.2. Variables dependientes.

Y1: Estabilidad Marshall: Ensayo que consiste en someter una muestra cilíndrica de mezcla asfáltica a carga vertical la rotura de la muestra.

Y2: Deformación permanente: Es la resistencia que posee la mezcla asfáltica al ahuellamiento de la carpeta de rodadura

Y3: Costo: Es el valor monetario que presenta la mezcla asfáltica.



2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables.

Tabla 24

Cuadro de Operacionalización de Variables

Variable	Tipo	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Sub dimensiones	Indicador	Técnica	Instrumento Metodológico	Validación	Instrumento y/o equipo de ingeniería	Calibración del equipo de ingeniería	Escala	Valores esperados		
Mezcla S.M.A (Stone Mastic Asphalt) Independiente	Independiente	Mezcla asfáltica conformada por agregados, ligante asfáltico y agente estabilizante.	Sera medida en función a su estabilidad y deformación permanente teniendo en cuenta los límites de la norma vigente.	Mezcla S.M.A patrón	Agregados pétreos finos	Kg	Control de Calidad	Instrumento para control de calidad de agregados (agregado fino y agregado grueso)	De contenido	Equipos para medir los requerimientos de los agregados según la EG 2013	De acuerdo con la norma especificada para cada equipo	Ordinal	Mayor o igual a los valores mínimos establecidos por la EG 2013		
					Agregados pétreos gruesos	Kg									
					Ligante asfáltico Pen 85/100	%									
					Fibra Celulosa de Papel	%									
				Mezcla S.M.A con Grano de Caucho Reciclado (GCR)	Agregados pétreos finos	Kg		Instrumentos para control de calidad de cemento asfáltico							
					Agregados pétreos gruesos	Kg								Instrumentos para control de calidad de Fibra Celulosa de Papel	
					Ligante asfáltico Pen 85/100	%									Instrumento para diseño de Mezcla S.M.A. patrón y S.M.A. con GCR
					Fibra Celulosa de Papel	%									



					Grano de Caucho Reciclado (GCR)	%							
Estabilidad Marshall		Ensayo que consiste en someter una muestra cilíndrica de mezcla asfáltica a carga vertical la rotura de la muestra.	Se expresará en la capacidad de resistir el desplazamiento y las cargas de tráfico.	Método Marshall (ASTM D-1559)	Estabilidad Marshall	Kg	Formato	Formato de Ensayo de Estabilidad de Marshall	De contenido	Máquina de ensayo de Estabilidad de Marshall	Anillo de Carga		Mayor o igual a los valores mínimos establecidos por la MTC E504 y la ASTM D 1559
					Flujo Marshall	mm		Formato de Ensayo de Flujo Marshall			Manómetro digital con soporte		
Deformación permanente	Dependiente	Resistencia que posee la mezcla asfáltica al ahuellamiento de la carpeta de rodadura.	Se expresará en la capacidad de resistir deformaciones plásticas.	Rueda cargada de Hamburgo (AASHTO T324)	Profundidad de ahuellamiento	mm	Formato	Formato de Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo	De contenido	Rueda cargada de Hamburgo	Rueda	Ordinal	Mayor o igual a los valores mínimos establecidos por la AASHTO T324
Control de sistema de Temperatura											Sistema de medición de rodera		
Costo		Es el valor monetario que presenta la mezcla asfáltica.	Se medirá en el valor monetario de los materiales.	Análisis de Costo de Mezcla S.M.A. Patrón	Materiales	soles	Formato	Formato de Costos	De criterio	Ficha de recolección de datos	Ninguna		Mayor costo de producción en la mezcla S.M.A. Patrón
				Análisis de Costo de Mezcla S.M.A. con GCR									

Fuente: Elaboración Propia



Capítulo III: Metodología

3.1. Metodología de la Investigación.

3.1.1. Enfoque de la investigación.

De acuerdo con Monje Álvarez (2011), a partir del enfoque cuantitativo la investigación científica es una sucesión sistemática y ordenada que se efectúa siguiendo determinado proceso. Planificar un estudio radica en planificar acorde a una estructura lógica de decisiones y con un planeamiento de adquirir respuestas a los problemas planteados indagados. No existe un esquema perfecto universal, pese a tratarse de una sucesión metódica y sistemática que se puede aplicar mecánicamente a distintas investigaciones. Sin embargo, es factible reconocer una serie de elementos particulares, evidentemente armados, que generan un rumbo y guía al hacer una investigación, el cual se puede alcanzar en fases y etapas. (págs. 19-20)

El enfoque de la investigación es cuantitativo, puesto que según Borja Suárez (2012) por lo común en los estudios cuantitativos se establece una o varias hipótesis (suposiciones acerca de la realidad), se diseña un plan para someterlas a prueba, se miden los conceptos incluidos en las hipótesis (variables) y se transforman las mediciones en valores numéricos para analizarse posteriormente con técnicas estadísticas y extender los resultados a un universo más amplio o para consolidar las creencias de una teoría. (pág. 12)

Por tanto, al ser un análisis comparativo que solo analiza un estado particular de la mezcla S.M.A. se busca afianzar la creencia de la teoría planteada mas no generalizarla.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación.

3.1.2.1. Nivel descriptivo.

De acuerdo con Hernández, Fernández & Baptista (2014), los trabajos de investigación descriptivos tienen por objetivo detallar las propiedades y características de objetos o fenómenos a la que se someta el estudio. En otras palabras, solamente aspiran a la recolección de datos de manera individual o grupal sobre las variables referidas, no buscando la relación de estas. (pág. 92)

Se considera descriptiva la presente investigación, ya que se aspira medir o reunir información de las variables, indicando cual es el grado de asociación de las variables medidas presentes.



3.1.3. Método de investigación.

De acuerdo con Bernal Torres (2010) el método hipotético deductivo, es un método que inicia de afirmaciones en calidad de hipótesis y busca impugnar las hipótesis planteadas, concluyendo que las conclusiones deben confrontarse con los sucesos. (pág. 60)

Como nos dice Monje Álvarez (2011), el método hipotético deductivo empieza con el planteamiento de las hipótesis procedentes de la teoría, siguiendo con la operacionalización de las variables, recolección, procesamiento e interpretación de la información. Siendo los datos empíricos los que establecen el fundamento para la demostración de las hipótesis y los modelos teóricos planteados por el indagador. (pág. 13)

La presente investigación usa el método hipotético deductivo, ya que parte de una hipótesis la cual permitiera inferir relaciones entre las variables que ayudan a demostrar la hipótesis.

3.2. Diseño de la Investigación.

3.2.1. Diseño metodológico.

De acuerdo con Salkind (2010) “En los diseños preexperimentales, se observa un solo grupo de participantes o varios grupos después de alguna intervención o tratamiento que se presume que causa un cambio. Aunque siguen algunos pasos básicos utilizados en los experimentos, los diseños preexperimentales no incluyen una prueba previa, un grupo de control o de comparación, o ambos; además, no se utilizan procedimientos de aleatorización para controlar las variables extrañas. Por lo tanto, se consideran "previos", lo que indica que son preparatorios o prerrequisitos para verdaderos diseños experimentales.”

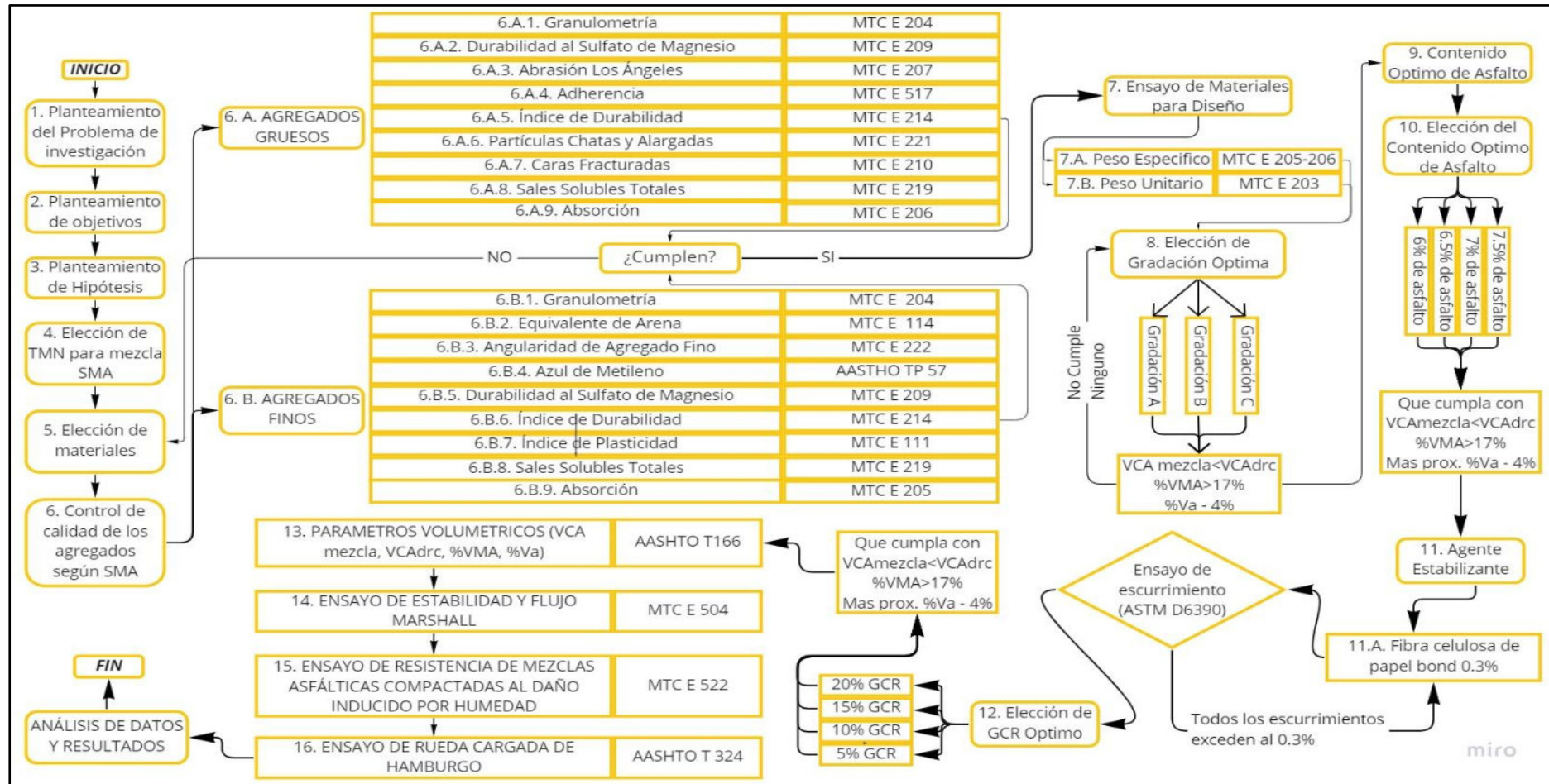
El diseño de la presente investigación es preexperimental, ya que cuenta con un grupo de estudio constituido por mezclas asálticas S.M.A. Patrón y un grupo constituido por mezclas asálticas S.M.A. elaboradas con un porcentaje de grano de caucho reciclado.



3.2.2. Diseño de ingeniería.

Figura 16

Diseño de Ingeniería



Fuente: Elaboración Propia



3.3. Población y Muestra.

3.3.1. Población.

3.3.1.1. Descripción de la población.

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) mencionan que la población, es la agrupación de todos los casos que corresponden a una secuencia de especificaciones. (pág. 174)

Siendo conformada la población por muestras de mezclas asfálticas (sueltas y compactadas), adicionados con grano de caucho reciclado (GCR) y sin grano de caucho reciclado (GCR).

3.3.1.2. Cuantificación de la población.

Al ser la población un material de construcción esta tendera al infinito.

3.3.2. Muestra.

3.3.2.1. Descripción de la muestra.

Como nos mencionan Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) la muestra es en esencia, un subgrupo de la población. Suponiendo que es un subconjunto de elementos que corresponden a ese conjunto determinado en sus propiedades, conocido como población. (pág. 175)

Medir en su totalidad la población ocasionalmente se puede, por lo que se selecciona un espécimen y por consiguiente pretendiendo que este subconjunto sea un reflejo fiel del conjunto de población. (pág. 175)

La muestra está constituida por muestras de mezclas asfálticas (sueltas y compactadas), adicionados con grano de caucho reciclado (GCR) y sin grano de caucho reciclado (GCR). Siendo elaboradas con áridos gruesos y finos procedentes de las canteras de Vicho y Cunyac, filler (cemento portland tipo IP), ligante asfáltico PEN 85/100 y fibra de celulosa de papel bond.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra.

La cuantificación de la muestra se considera teniendo un $N = 90\%$ de confianza, puntuación $z = 1.65$, un margen de error de $e = 10\%$ y la población $p \rightarrow \infty$ con la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N}\right)}$$



Obteniendo así una muestra según la estadística de 69 especímenes asfálticos. No obstante, las normas vigentes exigen un número mínimo de muestras, formando así un total de 58 especímenes asfálticos. Detallando así la muestra de 21 especímenes asfálticos compactados sin fibra celulosa de papel bond para la determinación de la gradación y proporción óptimo de ligante, 6 especímenes asfálticos sueltos para la determinación del escurrimiento, 23 especímenes asfálticos compactados con GCR (5%, 10% 15%, 20%), respecto al peso total y 14 especímenes asfálticos patrón con fibra celulosa de papel bond al 0.3% para la determinación de sus parámetros volumétricos, estabilidad y flujo, sensibilidad a la humedad (seca y húmeda) y rueda cargada de Hamburgo.

Tabla 25

Número de Muestras S.M.A. a Elaborar

CANTIDAD DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFALTICAS SMA						
ENSAYO	NORMA	DESCRIPCIÓN	N° DE MUESTRAS SEGÚN NORMA		N° DE MUESTRAS SIN FIBRAS	
PARÁMETROS VOLUMETRICOS	AASHTO T166	GRADACIÓN	COMPACTADAS		COMPACTADAS	
		Gradación "A"	3		3	
		Gradación "B"	3		3	
		Gradación "C"	3		3	
		% DE ASFALTO	COMPACTADAS		COMPACTADAS	
		6.00%	3		3	
		6.50%	3		3	
		7.00%	3		3	
ESCURRIMIENTO	ASTM D 6390	AGENTE ESTABILIZANTE	SUELTAS		SUELTAS	
			165°C	175°C	165°C	175°C
		Sin Fibra Celulosa de P.B.	-	-	1	1
		Con Fibra Celulosa de P.B. al 0.3%	-	-	2	2
ENSAYO	NORMA	DESCRIPCION	N° DE MUESTRAS SEGÚN NORMA		N° DE MUESTRAS ASFALTICAS	
PARAMETROS VOLUMETRICOS	AASHTOT166	% DE GCR	COMPACTADAS		COMPACTADAS	
		% GCR N°1 (0%)	3		3	
		% GCR N°2 (5%)	3		3	
		% GCR N°3 (10%)	3		3	
		% GCR N°4 (15%)	3		3	
		% GCR N°5 (20%)	3		3	
ESTABILIDAD Y FLUJO	MTC E504	ESTABILIDAD Y FLUJO	COMPACTADAS		COMPACTADAS	
		Sin GCR	3		3	
		Con GCR Óptimo	3		3	
SENSIBILIDAD A LA HUMEDAD	MTC E522	SENSIBILIDAD A LA HUMEDAD	COMPACTADAS		COMPACTADAS	
		Sin GCR	3		Secas	3
			3		Húmedas	3
		Con GCR Óptimo	3		Secas	3
			3		Húmedas	3
RUEDA CARGADA DE HAMBURGO	AASHTO T324	DEFORMACION PERMANENTE	COMPACTADAS		COMPACTADAS	
		Sin GCR	2		2	
		Con GCR Óptimo	2		2	
TOTAL					69	

Fuente: Elaboración Propia



3.3.2.3. Método de muestreo.

El método de muestreo en el presente estudio es No Probabilístico, puesto que Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) indican que la selección de los elementos no se sujeta a la probabilidad, sino de causas vinculadas con las características del estudio o con los objetivos del indagador. (pág. 176)

Tomando como referencia las normas AASHTO, MTC, NAPA y ASTM, se realiza la elaboración de las muestras asfálticas.

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra.

- Las muestras asfálticas se elaboran utilizando los criterios de diseño S.M.A. regidos por el Manual de Carreteras EG-2013 “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”.
- La elaboración de las muestras asfálticas S.M.A., se rige por el método Marshall especificado en la norma de Ensayo MTC E 504.
- Las muestras asfálticas S.M.A. son compactadas mediante 50 Golpes en ambas caras.
- Muestras asfálticas S.M.A. compactados sin agente estabilizante, con la finalidad de obtener una gradación y proporción de ligante óptimos.
- Muestras asfálticas S.M.A. sueltos con GCR y sin GCR.
- Muestras asfálticas S.M.A. compactadas con agente estabilizante para obtener Parámetros Volumétricos, Estabilidad y Flujo Marshall, Susceptibilidad a la humedad y Deformación Permanente.
- Muestras asfálticas S.M.A. compactadas sin presentar anomalías significativas en alguna de sus caras.
- Se efectúan y evalúan las muestras asfálticas de acuerdo con las normas MTC, AASHTO Y ASTM.

3.3.3. Criterios de inclusión.

- Fibra celulosa de papel bond empleada en las muestras asfálticas.
- El cemento asfáltico se eligió por el grado de desempeño PG 58-10 para zonas ubicadas a más de 3000 m.s.n.m., siendo el asfalto PEN 85/100.
- El ligante asfáltico para mezclas S.M.A. es de al menos 6.5%, por lo que para determinar la proporción óptimo de ligante se toma en cuenta incrementos porcentuales de 0.5% de ligante, ejecutando el diseño con cuatro porcentajes diferentes (6%, 6.5%, 7%, 7.5%)
- Los áridos gruesos y finos proceden de las Canteras de Vicho y Cunyac.



- Filler seleccionado Cemento Portland Tipo IP.
- El TMN $\frac{3}{4}$ " (19 mm) para el diseño.
- Se ejecutan 3 gradaciones en base al TMN comprobando si están dentro de los límites de la curva granulométrica.
- La mezcla asfáltica es en caliente.
- Los especímenes asfálticos cilíndricos presentan una altura nominal aproximadamente de 64 mm y 102 mm de diámetro.
- Colocación de agente estabilizante en seco.
- Durante el proceso de mezclado se implementa el agente estabilizante, posterior a la mezcla de los áridos con el ligante.
- El agente estabilizante para usar es 0.3% por recomendación de normativa y antecedente.
- Esparcir de manera homogénea, todo el agente estabilizante.
- Será 135°C la temperatura mínima de mezclado
- Previo al proceso de mezclado con el asfalto, calentar a temperatura similar los agregados y el agente estabilizante.
- Deberán cumplir las mezclas asfálticas S.M.A. compactadas con $\%Va \sim 4$, $VCA_{mezcla} < VCA_{DRC}$, $\%VMA \geq 17\%$.
- Las canastillas se fabrican según la norma ASTM D6390, con una abertura de malla de $\frac{1}{4}$ " (6.3mm).
- Se considera 165°C y 175°C las temperaturas para el ensayo de escurrimiento, tomando como referencia la temperatura utilizada en la planta de asfalto de la municipalidad del Cusco.
- Para el ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall, se utiliza la máquina de estabilidad Marshall y el cabezal Marshall.
- Para el ensayo de Tracción Indirecta se utiliza la máquina de estabilidad Marshall y el molde Lottman con acoples especiales
- Para el ensayo de Rueda Cargado de Hamburgo, se consideró una temperatura de 50°C y una deformación permanente de 12mm.



3.4. Instrumentos.

3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.

3.4.1.1. Formato N°1 – ensayo de análisis granulométrico de agregados.

Tabla 26

Formato de Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregados

TAMIZ N°		ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
							LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	
1"	25.00							100	100
3/4"	19.00							90	100
1/2"	12.50							45	60
3/8"	9.50							30	45
N°4	4.75							20	25
N°8	2.36							16	23
N°16	1.18								
N°30	0.60								
N°50	0.30								
N°200	0.075							9	13
FONDO								0	0
TOTAL RETENIDO									

Curva Granulométrica

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.2. *Formato N°2 – ensayo de abrasión de los ángeles.*

Tabla 27

Formato de Ensayo de Abrasión los Ángeles

		<u>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</u>					
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA					
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN							
ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES							
BASADO EN LA NORMA MTC E 207							
RESPONSABLES: _____				FECHA: _____			

LUGAR: _____							
MATERIAL: _____							
ABRASIÓN LOS ÁNGELES							
QUE PASA		RETENIDO SOBRE		GRADACIÓN			
mm	pulg.	mm	pulg.	A	B	C	D
37.5	1 1/2"	25	1"	1250.00 gr			
25	1"	19	3/4"	1250.00 gr			
19	3/4"	12.5	1/2"	1250.00 gr	2500.00 gr		
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250.00 gr	2500.00 gr		
9.5	3/8"	6.3	1/4"			2500.00 gr	
6.3	1/4"	4.75	N°4			2500.00 gr	
4.75	N°4	2.36	N°8				5000.00 gr
PESO TOTAL				5000.00 gr	5000.00 gr	5000.00 gr	5000.00 gr
N° de esferas				12	11	8	6
N° de revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación, mim				15	15	15	15
Peso inicial = Peso total de la muestra							
Peso final = Peso material desgastado							

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.3. *Formato N°3 – ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados.*

Tabla 28

Formato de Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas

		<u>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</u>										
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL										
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN												
ENSAYO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS												
BASADO EN LA NORMA MTC E 221												
RESPONSABLES: _____					FECHA: _____							
LUGAR: _____												
MATERIAL: _____												
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS												
MATERIAL		AGREGADO GRUESO			PARTICULAS		PARTICULAS		PARTICULAS CHATAS		PARTICULAS NI	
TAMIZ	Abertura	PESO (A)	PESO (C)	PASA	PESO (E)	%	PESO (F)	%	PESO (G)	%	PESO (H)	%
(pulg)	(mm)	(g)	(%)	(%)	(g)		(g)		(g)		(g)	
1"	25.40											
3/4"	19.05											
1/2"	12.70											
3/8"	8.75											
Peso Total de la Muestra												
Peso de la muestra de Ensayo (D) (Retenido 1/2")												

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.4. *Formato N°4 – ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.*

Tabla 29

Formato de Ensayo de Caras Fracturadas

		FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS					
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN							
ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS							
BASADO EN LA NORMA MTC E 210							
RESPONSABLES: _____				FECHA: _____			
LUGAR: _____							
MATERIAL: _____							
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS							
CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS							
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	$C=(B/A)*100$	$D=(A/TOTAL"A")$	E =C*D	
TAMIZ		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (gr)	PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS	
PASA	RETIENE						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"						
TOTAL							
CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS							
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	$C=(B/A)*100$	$D=(A/TOTAL"A")$	E =C*D	
TAMIZ		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (gr)	PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS	
PASA	RETIENE						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"						
TOTAL							

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.5. *Formato N°5 – ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio para agregados gruesos*

Tabla 30

Formato de Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) para Agregados Gruesos

		FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS							
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN									
ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS GRUESOS									
BASADO EN LA NORMA MTC E 209									
RESPONSABLES: _____					FECHA: _____				
LUGAR: _____									
MATERIAL: _____									
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS GRUESOS									
Tamices Utilizados: <input style="width: 300px; height: 20px;" type="text"/>									
TAMIZ				1	2	3=(1-2)	4=(3/1)*100	5	6=(4*5)/100
PASA	RETIENE	PESO RETENIDO (gr)	BOWLS N°	PESO INICIAL EMPLEADO (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDAS PESO		GRADACIÓN ORIGINAL %	PÉRDIDAS CORREGIDAS %
						gr	%		
3/4"	3/8"	1000 ± 10							
3/8"	N°4	300 ± 5							

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.6. *Formato N°6 – ensayo de límites de consistencia.*

Tabla 31

Formato de Ensayo Índice de Plasticidad

	<u>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</u> UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA				
BASADO EN LA NORMA MTC E 110				
<p>RESPONSABLES: _____ FECHA: _____</p> <p>_____</p> <p>LUGAR: _____</p> <p>MATERIAL: _____</p>				
LÍMITES DE CONSISTENCIA PARA FINOS				
	LÍMITE LIQUIDO (gr)			LÍMITE PLASTICO
Tara Número	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda (A) gr				
Peso Tara + Muestra Seca (B) gr				
Peso de la Tara (C) gr				
Peso de la Muestra Seca (Pms=B-C) gr				
Peso del Agua (Pa=A-B) gr				
Contenido de Humedad (Pa/Pms)				
Numero de Golpes				

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.7. Formato N°7 – ensayo de angularidad del agregado fino.

Tabla 32

Formato de Ensayo de Angularidad

	FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN		
ENSAYO DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO		
BASADO EN LA NORMA MTC E 222		
RESPONSABLES: _____ FECHA: _____ LUGAR: _____ MATERIAL: _____		
ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO		
Tamices Utilizados: <input style="width: 200px;" type="text"/>		
CARACTERISTICAS DEL CILINDRO		PESOS DEL CILINDRO Y MUESTRA
H	Dm	ARENA + CILINDRO (PW) (gr)
VOLUMEN (V) cm ³	PESO (P) gr	ARENA (W) gr
GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA		
Gsb (gr/cm ³)		
ANGULARIDAD O % DE VACÍOS NO COMPACTADOS (A%)		
$A\% = \frac{V - \frac{w}{Gsb}}{V} * 100 =$		

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.8. *Formato N°8 – ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio para agregados finos.*

Tabla 33

Formato de Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) para Agregados Finos

		FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS							
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN									
ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS FINOS									
BASADO EN LA NORMA MTC E 209									
RESPONSABLES: _____					FECHA: _____				
LUGAR: _____									
MATERIAL: _____									
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS FINOS - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%									
Tamices Utilizados: <input style="width: 300px; height: 20px;" type="text"/>									
TAMIZ				1	2	3=(1-2)	4=(3/1)*100	5	6=(4*5)/100
PASA	RETIENE	PESO RETENIDO (gr)	BOWLS N°	PESO INICIAL EMPLEADO (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDAS PESO		GRADACIÓN ORIGINAL %	PÉRDIDAS CORREGIDAS %
						gr	%		
3/8"	N° 4	100							
N° 4	N° 8	100							
N° 8	N° 16	100							
N° 16	N° 30	100							
N° 30	N° 50	100							
N° 50	N° 100	100							

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.9. *Formato N°9 – ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.*

Tabla 34

Formato de Ensayo de Peso Específico y Absorción

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN			
ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
BASADO EN LA NORMA MTC E 206			
<p>RESPONSABLES: _____ FECHA: _____</p> <p>LUGAR: _____</p> <p>MATERIAL: _____</p>			
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	RESULTADO
A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	
B	Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco	gr	
C	Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua	gr	

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.10. Formato N°10 – ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.

Tabla 35

Formato de Ensayo de Gravedad Específica y Absorción

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
BASADO EN LA NORMA MTC E205				
RESPONSABLES: _____			FECHA: _____	
LUGAR: _____				
MATERIAL: _____				
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	N° 1	PROMEDIO
	Peso del agregado seco al horno + Recipiente	gr		
	Peso del Recipiente	gr		
A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr		
B	Peso del Picnómetro + Agua	gr		
C	Peso del Picnómetro + Agregado + Agua hasta la marca	gr		
D	Peso del material saturado superficialmente seco	gr		

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.11. Formato N°11 – ensayo de adherencia del agregado grueso.

Tabla 36

Formato de Ensayo de Adherencia

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
ENSAYO DE ADHERENCIA				
BASADO EN LA NORMA MTC E517				
RESPONSABLES: _____	FECHA: _____			
LUGAR: _____				
MATERIAL: _____				
ADHERENCIA DE AGREGADO GRUESO				
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">ASFALTO: PEN 85/100</td> </tr> </table>			ASFALTO: PEN 85/100	
ASFALTO: PEN 85/100				
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">ADHERENCIA:</td> <td style="width: 100px; height: 20px;"></td> </tr> </table>			ADHERENCIA:	
ADHERENCIA:				

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.12. Formato N°12 – ensayo de índice de durabilidad del agregado grueso.

Tabla 37

Formato de Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad del Agregado Grueso

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																					
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN																						
ENSAYO DE INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADO GRUESO																						
BASADO EN LA NORMA MTC E214																						
RESPONSABLES: _____ FECHA: _____ _____ LUGAR: _____ MATERIAL: _____																						
INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #f4a460;">PRIMER CICLO</td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor gr. (C)</td> <td style="width: 50px;"></td> </tr> <tr> <td>Numero de fragmentos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Muestra gr.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #f4a460;">SEGUNDO CICLO</td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #f4a460;">SDI (2)</td> </tr> <tr> <td>Agregado:</td> <td></td> </tr> </table>			PRIMER CICLO		Peso Tambor gr. (C)		Numero de fragmentos		Peso Muestra gr.		Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)		Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)		SEGUNDO CICLO		Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)		SDI (2)		Agregado:	
PRIMER CICLO																						
Peso Tambor gr. (C)																						
Numero de fragmentos																						
Peso Muestra gr.																						
Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)																						
Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)																						
SEGUNDO CICLO																						
Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)																						
SDI (2)																						
Agregado:																						

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.13. Formato N°13 – ensayo de índice de durabilidad del agregado fino.

Tabla 38

Formato de Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad del Agregado Fino

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																					
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN																						
ENSAYO DE INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADO FINO																						
BASADO EN LA NORMA MTC E214																						
RESPONSABLES: _____ FECHA: _____ _____ LUGAR: _____ MATERIAL: _____																						
INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #fce4d6;">PRIMER CICLO</td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor gr. (C)</td> <td style="width: 100px;"></td> </tr> <tr> <td>Numero de fragmentos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Muestra gr.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #fce4d6;">SEGUNDO CICLO</td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #fce4d6;">SDI (2)</td> </tr> <tr> <td>Agregado:</td> <td></td> </tr> </table>			PRIMER CICLO		Peso Tambor gr. (C)		Numero de fragmentos		Peso Muestra gr.		Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)		Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)		SEGUNDO CICLO		Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)		SDI (2)		Agregado:	
PRIMER CICLO																						
Peso Tambor gr. (C)																						
Numero de fragmentos																						
Peso Muestra gr.																						
Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)																						
Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)																						
SEGUNDO CICLO																						
Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)																						
SDI (2)																						
Agregado:																						

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.14. Formato N°14 – ensayo de sales solubles del agregado grueso.

Tabla 39

Formato de Ensayo de Sales Solubles Totales del Agregado Grueso

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN			
ENSAYO DE SALES SOLUBLES PARA AGREGADO GRUESO			
BASADO EN LA NORMA MTC E219			
RESPONSABLES: _____		FECHA: _____	
LUGAR: _____			
MATERIAL: _____			
SALES SOLUBLES PARA AGREGADO GRUESO			
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
A	Masa inicial	gr	
B	Aforo de matraz y enrasado con agua destilada	mL	
C	Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL	mL	
D	Masa de alicuota cristalizada	gr	

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.15. Formato N°15 – ensayo de sales solubles del agregado fino.

Tabla 40

Formato de Ensayo de Sales Solubles Totales del Agregado Fino

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																						
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN																							
ENSAYO DE SALES SOLUBLES PARA AGREGADO FINO																							
BASADO EN LA NORMA MTC E219																							
RESPONSABLES: _____ FECHA: _____ _____ LUGAR: _____ MATERIAL: _____																							
SALES SOLUBLES PARA AGREGADO FINO																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>SIMBOLO</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>UNIDAD</th> <th>CANTIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Masa inicial</td> <td>gr</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Aforo de matraz y enrasado con agua destilada</td> <td>mL</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL</td> <td>mL</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Masa de alicuota cristalizada</td> <td>gr</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	A	Masa inicial	gr		B	Aforo de matraz y enrasado con agua destilada	mL		C	Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL	mL		D	Masa de alicuota cristalizada	gr	
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD																				
A	Masa inicial	gr																					
B	Aforo de matraz y enrasado con agua destilada	mL																					
C	Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL	mL																					
D	Masa de alicuota cristalizada	gr																					

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.16. Formato N°16 – ensayo de peso unitario de los agregados.

Tabla 41

Formato de Ensayo de Peso Unitario de los Agregados

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN					
ENSAYO DE PESO UNITARIO					
BASADO EN LA NORMA MTC E203					
<p>RESPONSABLES: _____ FECHA: _____</p> <p>LUGAR: _____</p> <p>MATERIAL: _____</p>					
PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO					
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (Vm) m3		<input type="text"/>			
ITEM	PROPORCIÓN DE AGREGADOS	PESO DE LOS AGREGADOS		CALCULO DE PESOS UNITARIOS	
		PESO SUELTO (Pas)	PESO COMPACTADO (Pac)	P.U. SUELTO (PUs = Pas/Vm)	P.U. COMPACTADO (Puc = Pac/Vm)
A	A.G. 3/4" (7%) - A.G. 1/2" (93%)				
B	A.G. 3/4" (13%) - A.G. 1/2" (87%)				
C	A.G. 3/4" (20%) - A.G. 1/2" (80%)				

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.17. Formato N°17 – ensayo de gravedad especifica bulk para mezclas asfálticas compactadas.

Tabla 42

Formato de Ensayo de Gravedad Especifica Bulk para Probetas Asfálticas Compactadas

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA				
BASADO EN LA NORMA AASHTO T166				
RESPONSABLES: _____		FECHA: _____		
LUGAR: _____		_____		
MATERIAL: _____		_____		
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD Peso al aire (gr)	WSUB Peso sumergido (gr)	WSSD Peso en su condición SSD en el aire (gr)	Gmb Gravedad Especifica Bulk del Especimen
GRADACION "A"				
GRADACION "B"				
GRADACION "C"				

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.18. *Formato N°18 – ensayo de equivalente de arena.*

Tabla 43

Formato de Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena

	FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																																						
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN																																							
ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA																																							
BASADO EN LA NORMA MTC E 114																																							
RESPONSABLES: _____ FECHA: _____ _____ LUGAR: _____ MATERIAL: _____																																							
EQUIVALENTE DE ARENA																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">N° de Ensayo</th> <th style="text-align: center;">1</th> <th style="text-align: center;">2</th> <th style="text-align: center;">3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Hora de entrada</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Hora de salida</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Hora de entrada</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Hora de salida</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Lectura finos (pulg.)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Lectura de arena (pulg.)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% de equivalente de arena</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Equivalente de arena promedio</td> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table>	N° de Ensayo	1	2	3	Hora de entrada				Hora de salida				Hora de entrada				Hora de salida				Lectura finos (pulg.)				Lectura de arena (pulg.)				% de equivalente de arena				Equivalente de arena promedio						
N° de Ensayo	1	2	3																																				
Hora de entrada																																							
Hora de salida																																							
Hora de entrada																																							
Hora de salida																																							
Lectura finos (pulg.)																																							
Lectura de arena (pulg.)																																							
% de equivalente de arena																																							
Equivalente de arena promedio																																							

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.19. Formato N°19 – ensayo de azul de metileno.

Tabla 44

Formato de Ensayo de Azul de Metileno

	FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN		
ENSAYO DE AZUL DE METILENO		
BASADO EN LA NORMA AASHTO TP 57		
RESPONSABLES: _____	FECHA: _____	
LUGAR: _____		
MATERIAL: _____		
AZUL DE METILENO PARA FINOS		
DATOS DEL ENSAYO		
Concentración de la solución de Azul de Metileno (mg/ml)	C:	
Solución de Azul de Metileno requerida en la titulación (ml)	V:	
Peso de material seco utilizado en la prueba (gr)	W:	
VALOR DE AZUL DE METILENO (VA)		
$VA = \frac{C \times V}{W}$		mg/gr

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.20. Formato N°20 – ensayo de escurrimiento.

Tabla 45

Formato de Ensayo de Escurrimiento

		FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS					
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN							
ENSAYO DE ESCURRIMIENTO							
BASADO EN LA NORMA ASTM D6390							
RESPONSABLES: _____				FECHA: _____			
LUGAR: _____							
MATERIAL: _____							
ESCURRIMIENTO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA CON FIBRA CELULOSA ELABORADA DE PAPEL BOND AL 0.30%							
TEMPERATURA DE 165°C							
MUESTRAS	% FIBRA	A	B	C	D	(D-C)/(B-A)*100	
		PESO DE CESTA VACÍA (gr)	PESO DE CESTA + MUESTRA (gr)	PESO DE RECIPIENTE (gr)	PESO RECIP. + MATERIAL ESCURRIDOS (gr)	ESCURRIMIENTO	
						%	% PROMEDIO
							% MAX.
TEMPERATURA DE 175°C							
MUESTRAS	% FIBRA	A	B	C	D	(D-C)/(B-A)*100	
		PESO DE CESTA	PESO DE CESTA +	PESO DE RECIPIENTE	PESO RECIP. + MATERIAL	ESCURRIMIENTO	
						%	% PROMEDIO
							% MAX.

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.21. Formato N°21 – ensayo de estabilidad y flujo marshall.

Tabla 46

Formato de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall

		FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS									
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN											
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL											
BASADO EN LA NORMA MTC E504											
RESPONSABLES: _____						FECHA: _____					
LUGAR: _____											
MATERIAL: _____											
ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA CON AGENTE ESTABILIZANTE											
ESTABILIDAD MARSHALL											
MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1	2	3	4	1	2	3	4		
		DIAMETRO APROX. DEL ESPECÍMEN				ALTURA APROX. DEL ESPECÍMEN					
	kgf	cm				cm					
FLUJO MARSHALL											
		FLUJO									
		0.01 pulg. (0.25 mm)									

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.22. *Formato N°22 – ensayo de resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad.*

Tabla 47

Formato de Ensayo de Daño Inducido por Humedad

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN									
RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD									
BASADO EN LA NORMA MTC E522									
RESPONSABLES: _____					FECHA: _____				
LUGAR: _____									
MATERIAL: _____									
ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA SIN Y CON GCR									
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS SMA	1	2	3	4	1	2	3	4	P
	DIAMETRO DE LA PROBETA				ALTURA DE LA PROBETA				CARGA MÁXIMA
	cm				cm				(kgf)
CONDICION SECA									
CONDICION HUMEDA									

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2. Instrumentos de ingeniería.

3.4.2.1. Instrumentos de ingeniería para ensayos de agregados gruesos.

Tabla 48

Instrumentos de Ingeniería para Ensayos de Agregados Gruesos

INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA ENSAYOS DE AGREGADOS GRUESOS			
ENSAYO DE AGREGADOS GRUESOS			
<ul style="list-style-type: none"> • GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS • ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ANGELES • ENSAYO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS GRUESOS • ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO • ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO AL SULFATO DE MAGNESIO • ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO • ENSAYO DE PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS GRUESOS • ENSAYO DE ADHERENCIA • ENSAYO DE ÍNDICE DE DURABILIDAD • ENSAYO DE SALES SOLUBLES TOTALES 			
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS			
BALANZA	BALANZAS DE PRECISIÓN	BANDEJAS	BOWLS
CUCHARONES METÁLICOS	SERIE DE TAMICES PARA GRUESOS	HORNO ELÉCTRICO	MAQUINA ABRASIÓN DE LOS ANGELES
BILLAS DE ACERO	CALIBRADOR DE ESPESORES	CALIBRADOR DE LONGITUDES	ESPATULA
PROBETA	PIPETA	EQUIPO DE FLOTACIÓN	CANASTILLA METÁLICA
MOLDE PROCTOR Y VARILLA 5/8"	TERMÓMETRO	VASO DE PRECIPITADOS	VERNIER

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.2. Instrumentos de ingeniería para ensayos de agregados finos.

Tabla 49

Instrumentos de Ingeniería para Ensayos de Agregados Finos

INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA ENSAYOS DE AGREGADOS FINOS			
ENSAYO DE AGREGADOS FINOS			
<ul style="list-style-type: none"> • GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS • ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA • ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA • ENSAYO DE ANGULARIDAD DE FINOS • ENSAYO DE AZUL DE METILENO • ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO AL SULFADO DE MAGNESIO • ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINOS • ENSAYO DE SALES SOLUBLES TOTALES • ENSAYO DE ÍNDICE DE DURABILIDAD 			
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS			
			
BALANZA DE PRECISIÓN	BANDEJAS	BOWLS	HORNO ELÉCTRICO
			
SERIE DE TAMICES PARA FINOS	COPA DE CASAGRANDE Y ACANALADOR	TARAS	ESPATULA
			
VIDRIO ESMERILADO	PISETA	TAMIZ N°40	TAMIZ N°200
			
BURETA	VASO DE PRECIPITADO	MATRAZ VOLUMÉTRICO	PROBETA
			
EMBUDO	SIFONEADOR	REGLA METÁLICA	VERNIER



			
PIPETAS Y TUBOS DE ENSAYO	TERMÓMETRO	CONO Y APISONADOR METALICO	BOMBA DE VACÍOS
			
ESTUFA}	CUCHARONES METÁLICOS		

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.3. *Instrumentos de ingeniería para preparación de mezclas asfálticas.*

Tabla 50

Instrumentos de Ingeniería para Preparación de Mezclas Asfálticas





INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA PREPARACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
MEZCLAS ASFÁLTICAS - PROBETAS			
<ul style="list-style-type: none"> • MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA GRADACIÓN ÓPTIMA • MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA % ASFALTO ÓPTIMO • MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA ESCURRIMIENTO • MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS • MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL • MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA TRACCIÓN INDIRECTA • MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA RUEDA CARGADA DE HAMBURGO 			
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS			
			
ALICATE	BALANZAS DE PRECISIÓN	BASE, COLLAR Y BRIQUETAS MARSHALL	BOWLS
			
MARTILLO COMPACTADOR	ESPATULAS Y CUCHILLO	ESTUFA	EYECTOR DE MUESTRAS
			
GUANTES	HORNO ELÉCTRICO	LENTE DE PROTECCIÓN	TARAS
			
TERMÓMETRO			

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.4. *Instrumentos de ingeniería para parámetros volumétricos de mezclas asfálticas.*

Tabla 51

Instrumentos de Ingeniería para Parámetros Volumétricos de Mezclas Asfálticas

INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
<ul style="list-style-type: none"> • PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS PARA GRADACIÓN ÓPTIMA • PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS PARA % ASFALTO ÓPTIMO • DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS MEZCLAS SMA CON Y SIN GCR • PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS PARA ENSAYO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD 			
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS			
			
BALANZAS DE PRECISIÓN	CANASTILLA	EQUIPO DE FLOTACIÓN	FRANELAS

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.5. *Instrumentos de ingeniería para ensayo de escurrimiento.*

Tabla 52

Instrumentos de Ingeniería para Ensayo de Esgurrimento

INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA ENSAYO DE ESCURRIMIENTO			
<ul style="list-style-type: none"> • ENSAYO DE ESCURRIMIENTO 			
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS			
			
ALICATE	BALANZAS DE PRECISIÓN	BOWLS	CANASTILLAS DE ESCURRIMIENTO
			
ESPATULAS Y CUCHILLO	ESTUFA	GUANTES	HORNO ELÉCTRICO
			
LENTES DE PROTECCIÓN	TARAS	TERMÓMETRO	

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.6. *Instrumentos de ingeniería para ensayo de estabilidad y flujo marshall.*

Tabla 53

Instrumentos de Ingeniería para Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall

INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL		
<ul style="list-style-type: none"> • ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL 		
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS		
		
BAÑO MARIA	MAQUINA MARSHALL	CABEZAL DE RUPTURA
		
TERMÓMETRO	VERNIER	GUANTES

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.7. *Instrumentos de ingeniería para ensayo de susceptibilidad a la humedad.*

Tabla 54

Instrumentos de Ingeniería para Ensayo de Daño Inducido por Humedad

INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA ENSAYO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA HÚMEDAD			
<ul style="list-style-type: none"> • ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD 			
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS			
			
BALANZA	BALANZAS DE PRECISIÓN	BOWLS	BASE, COLLAR Y BRIQUETAS MARSHALL
			
BAÑO MARÍA	CANASTILLA	EQUIPO DE FLOTACIÓN	ESTUFA



			
FRANELAS	ESPATULAS Y CUCHILLOS	EYECTOR DE MUESTRAS	MARTILLO COMPACTADOR
			
HORNO ELÉCTRICO	LOTTMAN Y ACOPLÉ DE TRACCIÓN IND.	MAQUINA MARSHALL	REFRIGERADORA
			
PROBETA	VERNIER	REGLA METÁLICA	TERMÓMETRO

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.8. Instrumentos para ensayo de rueda cargada de Hamburgo.

Tabla 55

Instrumentos para Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo

INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA ENSAYO DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO		
<ul style="list-style-type: none"> • ENSAYO DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO 		
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS		
		
MAQUINA DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO	SISTEMA DE MONTAJE DE ESPÉCIMEN CILÍNDRICO	AMOLADORA

Fuente: Elaboración Propia



3.5. Procedimiento de Recolección de Datos.

3.5.1. Recolección de datos realizada de la cantera de agregado de Vicho – cantera de agregado Cunyac.

La visita realizada a la cantera de agregado de Vicho ($\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{4}$ " y arena triturada) y a la cantera de agregado Cunyac (arena lavada), se produjo con el objetivo de determinar el origen y proceso de producción de los materiales extraídos, se recoge muestras de los áridos para el desarrollo de la investigación.

Figura 17

Recolección de Áridos de la Cantera de Vicho y Cunyac



Fuente: Elaboración Propia



3.5.2. Elaboración de fibra celulosa elaborada de papel bond.

a) Consideraciones

Las mezclas asfálticas S.M.A. necesitan un agente estabilizante, por el cual se elabora celulosa de papel bond debido a la semejanza de la fibra celulosa, el proceso para obtenerlo es parecido al reciclaje de papel pero de manera inversa, el cual la desintegración de la masa es una de las fases más importantes, esta acción por lo general lo realiza un pulper el cual es sustituido por una licuadora, la cual simula el procedimiento para conformar una masa que presenta parámetros semejantes a la celulosa.

Se emplea el papel bond nuevo, ya que está libre de sustancias, el cual podrían alterar las propiedades y presenta una resistencia considerable de sus fibras debido a la pulpa con la que se produce.

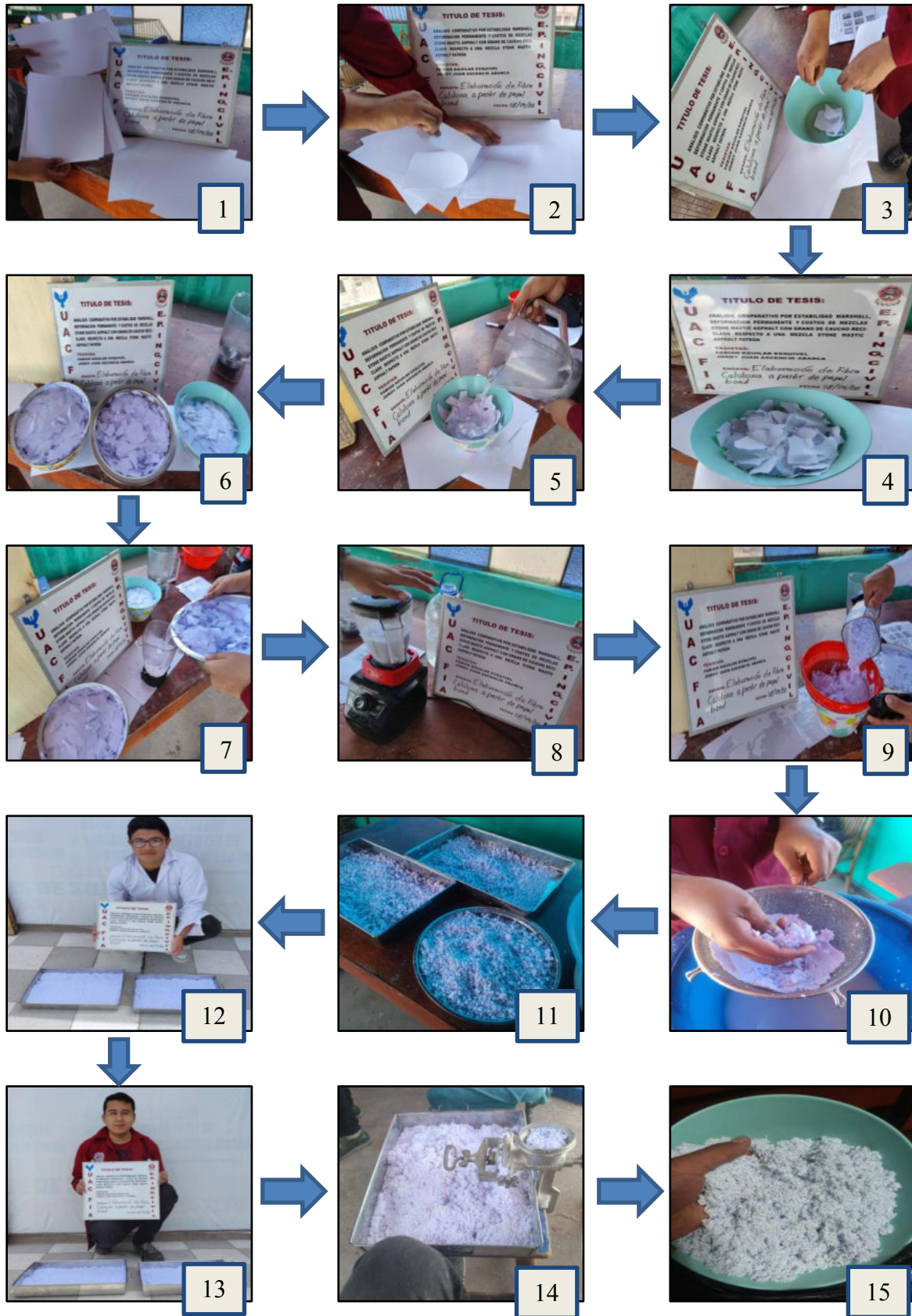
b) Elaboración de fibra celulosa a partir de papel bond

1. Elección de papel bond (nuevo, libre de impresiones).
2. Romper en tiras el papel bond con la mano, la absorción del agua será más optima.
3. Continuar rompiendo en cuadrados pequeños.
4. Colocar los trozos de papel bond en un envase.
5. Humedecer los trozos de papel bond con agua.
6. Remojar los trozos de papel bond por un periodo de 2 días.
7. Verter el papel humedecido en la licuadora.
8. Licuar el papel humedecido con el fin de adquirir una masa con consistencia cremosa.
9. Echar la crema adquirida al cernidor para tamizar el exceso de agua con el fin de adquirir la celulosa.
10. Verificar manualmente la textura de la celulosa húmeda.
11. Colocar la celulosa húmeda en un envase.
12. Deshacer la celulosa húmeda con las manos, en partículas pequeñas.
13. Secar la celulosa por un periodo adecuado al aire libre.
14. Moler la celulosa seca hasta desintegrarlas en un polvo blanco.
15. Colocar en un envase y verificar con el tacto la celulosa.



Figura 18

Procedimiento de Elaboración de Fibra Celulosa Elaborada de Papel Bond



Fuente: Elaboración Propia



3.5.3. Obtención del grano de caucho reciclado.

a) Consideraciones

El procedimiento de obtención del grano de caucho reciclado (GCR), se elabora a partir del cortado de planchas de caucho reciclado en trozos de acuerdo con la gradación requerida, con el objetivo de reemplazar una proporción del agregado grueso.

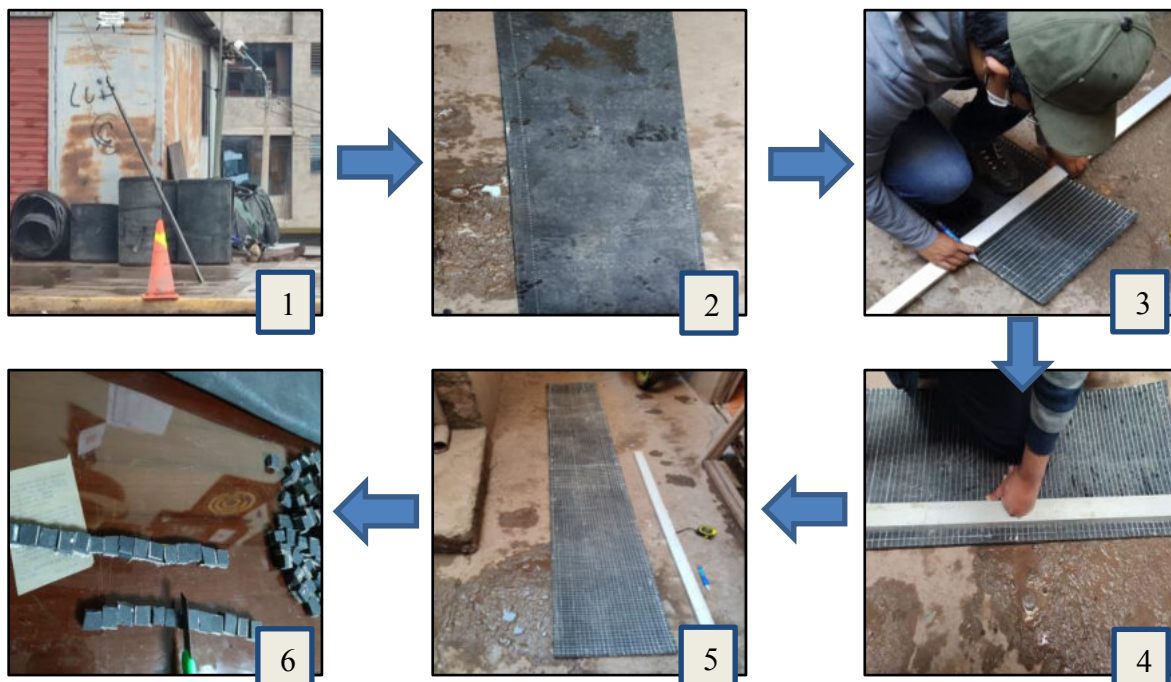
Se emplea planchas de caucho reciclado, para obtener un espesor constante según la gradación, y facilita la limpieza de sustancias el cual podrían alterar las propiedades.

b) Obtención del Grano de Caucho Reciclado

- Elección de plancha de caucho de acuerdo con el espesor requerido ($e=11.50\text{mm}$).
- Marcar mediante puntos el distanciamiento requerido de 1.50cm, tanto horizontal y verticalmente en toda la plancha reciclada de caucho.
- Trazar líneas horizontales sobre la plancha de caucho reciclado, cada 1.50 cm.
- Trazar líneas verticales sobre la plancha de caucho reciclado, cada 1.50 cm.
- Verificar la distribución de las líneas trazadas.
- Cortar en tiras la plancha de caucho reciclado, siguiendo las líneas verticales.
- Cortar en cuadrados las tiras de caucho reciclado, siguiendo las líneas horizontales.
- Colocar el grano de caucho reciclado (GCR) en un recipiente.

Figura 19

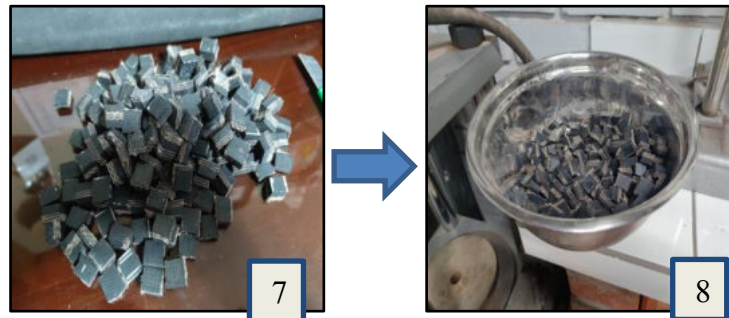
Procedimiento de Granulación de Planchas de Caucho Reciclado – Parte I



Fuente: Elaboración Propia

Figura 20

Procedimiento de Granulación de Planchas de Caucho Reciclado – Parte II



Fuente: Elaboración Propia

3.5.4. Ensayo de granulometría – MTC E 204.

a) Materiales y equipos

- Para áridos gruesos serie de tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8", n°4, n°8 y fondo.
- Para áridos finos serie de tamices n°4, n°8, n°16, n°30, n°50, n°200 y fondo.
- Cucharón metálico.
- Balanza de precisión.

b) Preparación de la muestra

Disminuir la muestra de áridos a través del cuarteo mecánico y conseguir para cada árido al menos:

- Árido grueso de 3/4", según su TMN 3/4" es 5 Kg, previo al cuarteo.
- Árido grueso de 1/2", según su TMN 1/2" es 2 Kg, previo al cuarteo.
- Agregado fino 300gr mínimo.
- Filler, considerando como un árido fino, un mínimo de 300 gr de muestra.

c) Procedimiento

- Seleccionar la serie de tamices de manera que cumpla las especificaciones del diseño de mezclas S.M.A., de acuerdo a su TMN 3/4".
- Pesar cada bowl seleccionado para cada tamiz.
- Colocar el material sobre el tamiz y efectuar el tamizado de manera manual durante un periodo de tiempo conveniente.
- Posterior al tamizado, se coloca en bowls separados cada muestra retenida en cada tamiz.
- Pesar la muestra retenida en los tamices utilizando una balanza de precisión.



Figura 21

Cuarqueo de los Áridos - Ensayo de Análisis Granulométrico



Fuente: Elaboración Propia

Figura 22

Tamizado de los Áridos - Ensayo de Análisis Granulométrico



Fuente: Elaboración Propia



Figura 23

Separación de Material en Bowls Retenido en Cada Tamiz - Ensayo de Análisis Granulométrico



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24

Granulometría Pesado de Tamices con Material Retenido - Ensayo de Análisis Granulométrico



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla 56

Recopilación de Información del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de 3/4"

TAMIZ N°		ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
								LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"		25.00	0.00					100	100
3/4"		19.00	6020.47					90	100
1/2"		12.50	3774.11					45	60
3/8"		9.50	115.24					30	45
N°4		4.75	24.07					20	25
N°8		2.36	4.24					16	23
N°16		1.18	0.00						
N°30		0.60	0.00						
N°50		0.30	0.00						
N°200		0.075	42.13					9	13
FONDO			21.84					0	0
TOTAL RETENIDO			10002.10						

Curva Granulométrica - 3/4"

El gráfico muestra el porcentaje que pasa (%) en función de la abertura (mm) para el agregado grueso de 3/4". El eje X es logarítmico, con valores de 0.01, 0.10, 1.00, 10.00 y 100.00 mm. El eje Y es lineal, con valores de 0% a 100% en incrementos de 10%. Se muestran dos curvas: una azul para el límite inferior y una naranja para el límite superior. Ambas curvas muestran un comportamiento similar, con un aumento significativo del porcentaje que pasa a partir de 10 mm, alcanzando el 100% a 25 mm.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 57

Recopilación de Información del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de 1/2"

FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN								
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA								
BASADO EN LA NORMA MTC E 204								
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u>						FECHA: <u>30/06/2021 - 01/07/2021</u>		
LUGAR: <u>Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS</u>								
MATERIAL: <u>Piedra Chancada de 1/2" de la Cantera de Vicho</u>								
GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO - 1/2"								
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
							LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"	25.00	0.00					100	100
3/4"	19.00	0.00					90	100
1/2"	12.50	6030.16					45	60
3/8"	9.50	4783.38					30	45
N°4	4.75	545.93					20	25
N°8	2.36	178.97					16	23
N°16	1.18	145.32						
N°30	0.60	105.20						
N°50	0.30	49.48						
N°200	0.075	19.87					9	13
FONDO		62.99					0	0
TOTAL RETENIDO		11921.30						

Curva Granulométrica - 1/2"

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 58

Recopilación de Información del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Arena Triturada

FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN								
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA								
BASADO EN LA NORMA MTC E 204								
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u>						FECHA: <u>30/06/2021 - 01/07/2021</u>		
LUGAR: <u>Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS</u>								
MATERIAL: <u>Arena Triturada de la Cantera de Vicho</u>								
GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA								
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
							LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"	25.00	0.00					100	100
3/4"	19.00	0.00					90	100
1/2"	12.50	0.00					45	60
3/8"	9.50	31.20					30	45
N°4	4.75	2209.00					20	25
N°8	2.36	1617.00					16	23
N°16	1.18	1627.00						
N°30	0.60	1215.00						
N°50	0.30	719.40						
N°200	0.075	461.40					9	13
FONDO		220.00					0	0
TOTAL RETENIDO		8100.00						

Curva Granulométrica - Arena Triturada

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 59

Recopilación de Información del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Arena de Río

TAMIZ N°		ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
							LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	
1"	25.00	0.00						100	100
3/4"	19.00	0.00						90	100
1/2"	12.50	0.00						45	60
3/8"	9.50	0.00						30	45
N°4	4.75	9.00						20	25
N°8	2.36	11.00						16	23
N°16	1.18	17.00							
N°30	0.60	112.00							
N°50	0.30	441.00							
N°200	0.075	309.00						9	13
FONDO			101.00					0	0
TOTAL RETENIDO			1000.00						

Curva Granulométrica - Arena de Río

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 60

Recopilación de Información del Ensayo de Análisis Granulométrico del Filler

TAMIZ N°		ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
								LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"		25.00	0.00					100	100
3/4"		19.00	0.00					90	100
1/2"		12.50	0.00					45	60
3/8"		9.50	0.00					30	45
N°4		4.75	0.00					20	25
N°8		2.36	0.00					16	23
N°16		1.18	0.00						
N°30		0.60	0.00						
N°50		0.30	0.00						
N°200		0.075	8.61					9	13
FONDO			491.49					0	0
TOTAL RETENIDO			500.10						

Curva Granulométrica - Filler

Fuente: Elaboración Propia



3.5.5. Ensayo de abrasión los ángeles - MTC E 207.

- a) Materiales y equipos
 - Serie de Tamices 3/4", 1/2", 3/8", n°12.
 - Máquina de los ángeles.
 - Billas de acero.
 - Horno eléctrico.
 - Bowls.
 - Balanza de precisión.
- b) Preparación de la muestra
 - Realizar el lavado y secado del material, posteriormente separarlo de acuerdo a cada malla correspondiente y recombinar a la gradación, empleando el método B se requiere 5000 gr de material, 2500 ± 10 gr para 3/4" y 2500 ± 10 gr para 1/2".

Figura 25

Lavado, Secado y Tamizado del Material - Ensayo de Abrasión los Ángeles



Fuente: Elaboración Propia

- c) Procedimiento
 - De acuerdo con el método B, colocar los 5000g de material y la carga (11 billas) en el interior de la máquina de Los Ángeles y rotarla entre 30 a 33 rpm, por 500 revoluciones durante 15 min.
 - Terminado las revoluciones, esperar 3 min para que el polvo se asiente.
 - Descargar la muestra de la máquina de los ángeles, y realizar el tamizado mediante el tamiz n°12.
 - Lavar la muestra que se retenga en el tamiz n°12 y secar al horno a 1100 ± 10 °C.
 - Secado la muestra realizar el pesaje.



Figura 26

Colocación de Muestra y Billas en la Máquina de los Ángeles - Ensayo de Abrasión los Ángeles



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27

Descargado de Material de la Máquina de los Ángeles - Ensayo de Abrasión los Ángeles



Fuente: Elaboración Propia

Figura 28

Cernido, Lavado, Secado y Registro de Peso de Residuo - Ensayo de Abrasión los Ángeles



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla 61

Recopilación de Información del Ensayo de Abrasión Los Angeles

		FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS					
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN							
ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES							
BASADO EN LA NORMA MTC E 207							
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ Jordy Juan Ascencio Abarca _____				FECHA: 30/06/2021 - 01/07/2021			
LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS							
MATERIAL: Piedra Chancada de 3/4" y 1/2" de la Cantera de Vicho							
ABRASIÓN LOS ÁNGELES							
QUE PASA		RETENIDO SOBRE		GRADACIÓN			
mm	pulg.	mm	pulg.	A	B	C	D
37.5	1 1/2"	25	1"	1250.00 gr			
25	1"	19	3/4"	1250.00 gr			
19	3/4"	12.5	1/2"	1250.00 gr	2500.00 gr		
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250.00 gr	2500.00 gr		
9.5	3/8"	6.3	1/4"			2500.00 gr	
6.3	1/4"	4.75	N°4			2500.00 gr	
4.75	N°4	2.36	N°8				5000.00 gr
PESO TOTAL				5000.00 gr	5000.00 gr	5000.00 gr	5000.00 gr
N° de esferas				12	11	8	6
N°de revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación, mim				15	15	15	15
Peso inicial = Peso total de la muestra					5001.00 gr		
Peso final = Peso material desgastado					4012.00 gr		

Fuente: Elaboración Propia

3.5.6. Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados gruesos - MTC E 221.

a) Materiales y equipos

- Serie de Tamices: 1", 3/4", 1/2", 3/8", n°4.
- Bandejas y bowls.
- Calibradores Metálicos (Calibrador de espesores y calibrador de longitudes).
- Balanza de precisión.

b) Preparación de la muestra

- De acuerdo con el TMN de los áridos se considera los mínimos requeridos:



- Árido grueso de 3/4", con TMN 3/4" la cantidad de 2 Kg.
 - Árido grueso de 1/2", con TMN 1/2" la cantidad de 1 Kg
- c) Procedimiento
- Tamizar la muestra en los tamices seleccionados y separar la muestra en bowls identificados, según la muestra retenido en cada tamiz.

Figura 29

Cernido y Separación del Material - Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas



Fuente: Elaboración Propia

- Pesar cada bowl identificado.
- Usar el calibrador de espesores, para separar el material con forma achatada, pasando las partículas a través de las ranuras, hasta encontrar su fracción correspondiente.
- Realizar el pesaje de las partículas retenidas en cada fracción según la ranura.

Figura 30

Calibrador de Espesores para Formas Achatadas - Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas





Fuente: Elaboración Propia

- Usar el calibrador de longitudes, para separar el material con forma alargada, pasando las partículas a través del calibrador entre las barras correspondientes a la fracción ensayada.
- Realizar el pesaje de las partículas retenidas en cada fracción según las barras.

Figura 31

Calibrador de Longitudes para Formas Alargadas - Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla 62

Recopilación de Información del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas en el Agregado Grueso de 3/4"

FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL												
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN												
ENSAYO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS												
BASADO EN LA NORMA MTC E 221												
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ Jordy Juan Ascencio Abarca _____						FECHA: 03/07/2021 - 08/07/2021						
LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS _____ MATERIAL: Piedra Chancada de 3/4" de la Cantera de Vicho _____												
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS - 3/4"												
MATERIAL		AGREGADO GRUESO			PARTÍCULAS CHATAS		PARTÍCULAS ALARGADAS		PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS		PARTÍCULAS NI CHATAS, NI ALARGADAS	
TAMIZ (pulg)	Abertura (mm)	PESO (A) (g)	PESO (C) (%)	PASA (%)	PESO (E) (g)	(%)	PESO (F) (g)	(%)	PESO (G) (g)	(%)	PESO (H) (g)	(%)
1"	25.40			100.00							0.00	
3/4"	19.05	3000.00			301.77		0.00		0.00		2698.23	
1/2"	12.70	1500.00			166.24		163.46		142.80		1027.50	
3/8"	8.75	0.00			0.00		0.00		0.00		0.00	
Peso Total de la Muestra		4500.00										
Peso de la muestra de Ensayo (D) (Retenido 1/2")		4500.00										

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 63

Recopilación de Información del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas en el Agregado Grueso de 1/2"

FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL												
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN												
ENSAYO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS												
BASADO EN LA NORMA MTC E 221												
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ Jordy Juan Ascencio Abarca _____						FECHA: 03/07/2021 - 08/07/2021						
LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS _____ MATERIAL: Piedra Chancada de 1/2" de la Cantera de Vicho _____												
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS - 1/2"												
MATERIAL		AGREGADO GRUESO			PARTÍCULAS CHATAS		PARTÍCULAS ALARGADAS		PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS		PARTÍCULAS NI CHATAS, NI ALARGADAS	
TAMIZ (pulg)	Abertura (mm)	PESO (A) (g)	PESO (C) (%)	PASA (%)	PESO (E) (g)	(%)	PESO (F) (g)	(%)	PESO (G) (g)	(%)	PESO (H) (g)	(%)
1"	25.40			100.00							0.00	
3/4"	19.05	0.00			0.00		0.00		0.00		0.00	
1/2"	12.70	1500.00			102.82		106.99		155.00		1135.19	
3/8"	8.75	500.00			44.34		29.82		75.90		349.94	
Peso Total de la Muestra		2000.00										
Peso de la muestra de Ensayo (D) (Retenido 3/8")		2000.00										

Fuente: Elaboración Propia



3.5.7. Ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso – MTC E 210.

- a) Materiales y equipos
 - Serie de Tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8".
 - Balanza de precisión.
 - Bowls
 - Espátula
- b) Preparación de la muestra
 - Definido durante el procedimiento.
- c) Procedimiento
 - Lavar, secar el material y realizar el cuarteo, hasta obtener una cantidad mínima requerida.

Figura 32

Lavado de Material – Ensayo de Caras Fracturadas

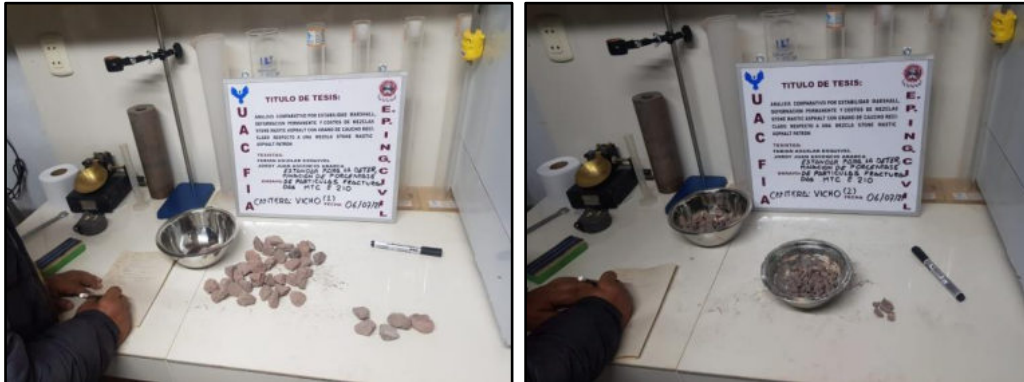


Fuente: Elaboración Propia

- La cantidad mínima de muestra requerida se determina según el TMN del material, el cual será lo siguiente:
 - Árido grueso de 3/4", con TMN 3/4" la cantidad de 1500gr.
 - Árido grueso de 1/2", con TMN 1/2" la cantidad de 500gr.
- Tamizar el agregado grueso y separar cada retenido en cada tamiz respectivamente.
- Realizar el pesado del material retenido en cada malla.
- En una superficie plana y limpia poner, para poder identificar cada partícula.

Figura 33

Colocación de Muestras Sobre Superficie – Ensayo de Caras Fracturadas



Fuente: Elaboración Propia

- Identificar cada partícula si presenta caras fracturadas, ya sea una o más caras fracturadas, dos o más caras fracturadas y no fracturadas.

Figura 34

Identificación de Partículas – Ensayo de Caras Fracturadas



Fuente: Elaboración Propia

- Pesar la muestra de las partículas por cada grupo.



d) Toma de datos

Tabla 64

Recopilación de Información del Ensayo de Caras Fracturadas en el Agregado Grueso de 3/4"

		FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS				
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN						
ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS BASADO EN LA NORMA MTC E 210						
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ FECHA: 03/07/2021 - 08/07/2021 Jordy Juan Ascencio Abarca _____						
LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS MATERIAL: Piedra Chancada de 3/4" de la Cantera de Vicho _____						
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS - 3/4"						
CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C=(B/A)*100	D=(A/TOTAL"A")	E =C*D
TAMIZ		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (gr)	PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
1"	3/4"	3250.00	3186.48			
3/4"	1/2"	1750.00	1725.34			
1/2"	3/8"					
TOTAL		5000.00	4911.82			
CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C=(B/A)*100	D=(A/TOTAL"A")	E =C*D
TAMIZ		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (gr)	PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
1"	3/4"	3250.00	2867.40			
3/4"	1/2"	1750.00	1642.22			
1/2"	3/8"					
TOTAL		5000.00	4509.62			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 65

Recopilación de Información del Ensayo de Caras Fracturadas en el Agregado Grueso de 1/2"

		FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS					
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN							
ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS							
BASADO EN LA NORMA MTC E 210							
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____				FECHA: 03/07/2021 - 08/07/2021			
Jordy Juan Ascencio Abarca _____							
LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS _____							
MATERIAL: Piedra Chancada de 1/2" de la Cantera de Vieho _____							
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS - 1/2"							
CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS							
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C=(B/A)*100	D=(A/TOTAL"A")	E =C*D	
TAMIZ		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (gr)	PARTICULAS FRACTURADA S (gr)	CARAS FRACTURADA S (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS	
PASA	RETIENE						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	500.00	489.81				
1/2"	3/8"	200.00	197.07				
TOTAL		700.00	686.88				
CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS							
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C=(B/A)*100	D=(A/TOTAL"A")	E =C*D	
TAMIZ		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (gr)	PARTICULAS FRACTURADA S (gr)	CARAS FRACTURADA S (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS	
PASA	RETIENE						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	500.00	481.90				
1/2"	3/8"	200.00	188.12				
TOTAL		700.00	670.02				

Fuente: Elaboración Propia

3.5.8. Ensayo de durabilidad del agregado grueso al sulfato de magnesio - MTC E 209.

a) Materiales y equipos

- Serie de tamices 3/4", 3/8" y n°4.
- Bowls.
- Probetas.
- Horno de secado.
- Balanza de precisión.
- Termómetro.
- Pipeta.
- Reactivos (solución de sulfato de sodio y magnesio).



- b) Preparación de la muestra
- Lavar y secar las partículas hasta peso constante.
 - Tamizar la muestra y teniendo el TMN de $\frac{3}{4}$ ", se obtendrá las cantidades de 300 ± 5 gr proveniente de $\frac{3}{8}$ " a $n^{\circ}4$ y 1000 ± 10 gr proveniente de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{3}{8}$ ".
- c) Procedimiento
- Introducir las partículas en la solución de sulfato de magnesio entre 16 h y 18h, cubriendo la muestra al menos 1.5cm.

Figura 35

Muestras en Solución de Sulfato de Magnesio - Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)



Fuente: Elaboración Propia

- Tapar los bowls para reducir la evaporación para prevenir las sustancias extrañas y mantener las muestras en solución a una temperatura de $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$ a lo largo del periodo de inmersión.

Figura 36

Muestras en Solución de Sulfato de Magnesio - Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)



Fuente: Elaboración Propia



- Pasado el periodo de inmersión, escurrir a lo largo de 15 min \pm 5 min.
- Secar las muestras en el horno a una temperatura oscilante entre 105 a 110°C, hasta conseguir un peso constante. Posteriormente retirar las muestras del horno y realizar el pesado en intervalos de 2 h a 4 h, se considera que tiene peso constante cuando 2 pesadas difieren en 1%.

Figura 37

Secado del Material en Horno - Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)



Fuente: Elaboración Propia

- Tamizar y pesar las muestras.

Nota: Repetir el procedimiento alternado de inmersión y secado hasta lograr el número de ciclos solicitados.



d) Toma de datos

Tabla 66

Recopilación de Información del Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) de Agregados Gruesos

FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN									
ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS GRUESOS									
BASADO EN LA NORMA MTC E 209									
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ Jordy Juan Ascencio Abarca _____					FECHA: 29/07/2021 _____				
LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS _____									
MATERIAL: Piedra Chancada de 3/4" y 1/2" de la Cantera de Vicho _____									
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS GRUESOS									
Tamices Utilizados: 3/4"; 3/8"; N°4									
TAMIZ				1	2	3=(1-2)	4=(3/1)*100	5	6=(4*5)/100
PASA	RETIENE	PESO RETENIDO (gr)	BOWLS N°	PESO INICIAL EMPLEADO (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDAS PESO		GRADACIÓN ORIGINAL %	PÉRDIDAS CORREGIDAS %
						gr	%		
3/4"	3/8"	1000 ± 10	AG-1	1002.2	994.37				
3/8"	N°4	300 ± 5	AG-2	302.9	288.49				

Fuente: Elaboración Propia

3.5.9. Ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos – MTC E 206.

a) Materiales y equipos

- Tamiz n°4.
- Depósito de agua.
- Cesta con malla de alambre.
- Horno.
- Balanza de precisión.

b) Preparación de la muestra

- Tamizar la muestra empleando el tamiz n°4 y desechar la muestra que pase.
- Lavar la muestra para eliminar impurezas superficiales.
- La cantidad mínima de muestra requerida se determina según el TMN del material, el cual será lo siguiente:
 - Árido grueso de 3/4", con TMN 3/4" la cantidad de 3000 gr.
 - Árido grueso de 1/2", con TMN 1/2" la cantidad de 2000 gr.
 - Grano de caucho reciclado, con TMN 1/2" la cantidad de 2000 gr.



Figura 38

Tamizado y Lavado de Muestras - Ensayo de Peso Específico y Absorción



Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

- Disponer el material en el horno y secar a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta lograr un peso constante.
- Realizar el sumergido del material en agua a temperatura ambiente durante 24 ± 4 h.

Figura 39

Inmersión de Material en Agua - Ensayo de Peso Específico y Absorción



Fuente: Elaboración Propia

- Sacar el material del agua y secar con un paño las partículas hasta obtener la condición de saturado superficialmente seca en el aire, y pesar las muestras.
- Determinar el pesaje sumergido en agua de las muestras, al colocarlas en la cesta de alambre.

Figura 40

Pesaje Sumergido - Ensayo de Peso Específico y Absorción



Fuente: Elaboración Propia

- Secar en el horno la muestra, hasta obtener un peso constante para luego ser retiradas a temperatura ambiente para el proceso de enfriamiento entre 1h a 3h y realizar el pesaje de la muestra.

d) Toma de datos

Tabla 67

Recopilación de Información del Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso de 3/4”

FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN			
ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
BASADO EN LA NORMA MTC E 206			
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ Jordy Juan Ascencio Abarca _____		FECHA: 27/07/2021 _____	
LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS _____			
MATERIAL: Piedra Chancada de 3/4" de la Cantera de Vicho _____			
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO - 3/4"			
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	RESULTADO
A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	3011.0
B	Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco	gr	3014.2
C	Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua	gr	1850.0

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 68

Recopilación de Información del Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso de 1/2"

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO BASADO EN LA NORMA MTC E 206				
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> FECHA: <u>27/07/2021</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u> LUGAR: <u>Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS</u> MATERIAL: <u>Piedra Chancada de 1/2" de la Cantera de Vicho</u>				
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO - 1/2"				
	SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	RESULTADO
	A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	2824
	B	Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco	gr	2829
	C	Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua	gr	1737

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 69

Recopilación de Información del Ensayo de Peso Específico y Absorción del GCR

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO BASADO EN LA NORMA MTC E 206				
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> FECHA: <u>27/07/2021</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u> LUGAR: <u>Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS</u> MATERIAL: <u>Grano de Caucho Reciclado - GCR</u>				
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO - GCR				
	SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	RESULTADO
	A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	2010.4
	B	Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco	gr	2012.5
	C	Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua	gr	306.9

Fuente: Elaboración Propia



3.5.10. Ensayo de peso unitario de los agregados gruesos – MTC E 203.

a) Materiales y equipos

- Recipiente de medición cilíndrico de metal con altura aproximadamente igual al diámetro, teniendo en cuenta que altura no debe ser inferior al 80% ni superior al 150% del diámetro.
- Regla Metálica.
- Cucharon Metálico.
- Balanza.
- Varilla compactadora de 5/8".
- Vernier.

b) Preparación de la muestra

- El material debe representar aproximadamente del 125% al 200% de la cantidad necesaria para llenar el recipiente.
- La cantidad de muestra se determina según combinación de los agregados de acuerdo con su gradación de diseño.
 - Gradación A: 3/4" 7% y 1/2" 93%
 - Gradación B: 3/4" 13% y 1/2" 87%
 - Gradación C: 3/4" 20% y 1/2" 80%

Figura 41

Separado de Material por Combinaciones Granulométricas - Ensayo de Peso Unitario



Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

- Combinar el los áridos de acuerdo con la gradación determinada del diseño A, B o C.
- Anotar las dimensiones del recipiente metálico diámetro, altura y su peso.
- Peso unitario suelto:



- Empleando el cucharón metálico llenar el recipiente de medida hasta que rebose el recipiente.
- Utilizando la regla o varilla enrazar el recipiente y así quitar el material sobrante.
- Pesar el recipiente más el contenido.

Figura 42

Peso Unitario Suelto - Ensayo de Peso Unitario



Fuente: Elaboración Propia

- Peso unitario compactado:
 - Llenar el recipiente hasta la tercera parte, enraizando la superficie y apisonar la capa con 25 golpes distribuidos uniformemente utilizando la varilla con punta semiesférica. Llenar hasta los 2/3, emparejar la superficie y apisonar de la manera descrita. Por último, llenar el recipiente y apisonar de nuevo de la manera descrita.
 - Llenar 2/3 del recipiente con material volviendo a enrazar la superficie y apisonar como se describe. Por último, cuartear el material y llenar hasta que rebose el recipiente y apisonar como se describe.
 - Emparejar la superficie utilizando una regla o varilla y pesar el recipiente con el material.

Figura 43

Peso Unitario Compactado - Ensayo de Peso Unitario



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla 70

Recopilación de Información del Ensayo de Peso Unitario de los Agregados Gruesos para Gradación A, B y C

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN					
ENSAYO DE PESO UNITARIO					
BASADO EN LA NORMA MTC E203					
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel Jordy Juan Ascencio Abarca		FECHA: 30/07/2021 - 05/08/2021			
LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS					
MATERIAL: Piedra Chancada de 3/4" y 1/2" de la Cantera de Vicho					
PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO					
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (Vm)		3200.29 cm ³	0.0032 m ³		
ITEM	PROPORCIÓN DE AGREGADOS	PESO DE LOS AGREGADOS		CALCULO DE PESOS UNITARIOS	
		PESO SUELTO (Pas)	PESO COMPACTADO (Pac)	P.U. SUELTO (PUs = Pas/Vm)	P.U. COMPACTADO (Puc = Pac/Vm)
A	A.G. 3/4" (7%) - A.G. 1/2" (93%)	4.237	4.476		
B	A.G. 3/4" (13%) - A.G. 1/2" (87%)	4.286	4.555		
C	A.G. 3/4" (20%) - A.G. 1/2" (80%)	4.213	4.598		

Fuente: Elaboración Propia

3.5.11. Ensayo de límites de consistencia – MTC E 110.

a) Materiales y equipos

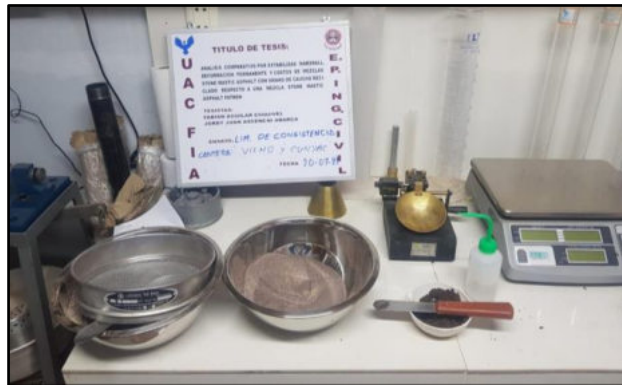
- Tamiz n°40.
- Acanalador.
- Copa casagrande.
- Agua destilada.
- Vasija y apisonador de porcelana.
- Horno.
- Taras.
- Espátula.
- Vidrio esmerilado.
- Balanza de precisión.



- Piseta.
- b) Preparación de la muestra
 - Tamizar la arena triturada y arena de río por el tamiz n°40, el material pasante se mezcla en la proporción arena triturada 80% y arena fina 20% del peso respectivo, para un peso de muestra total entre 150g a 200g.

Figura 44

Tamizado de Muestras - Ensayo de Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración Propia

- c) Procedimiento
 - Límite líquido.
 - Realizar la calibración de la copa Casagrande con una caída de 10mm.
 - En una vasija de porcelanato colocar la muestra, agregar agua destilada y mezclar homogéneamente.
 - Colocar la muestra mezclada en la cuchara de casa grande y expandirla uniformemente.

Figura 45

Mezclado de Muestra y Colocada en Copa Casagrande - Ensayo de Índice de Plasticidad



Fuente: Elaboración Propia



- Dividir en 2 la muestra de la copa con el acanalador.

Figura 46

Ranurado del Material en la Copa - Ensayo de Índice de Plasticidad



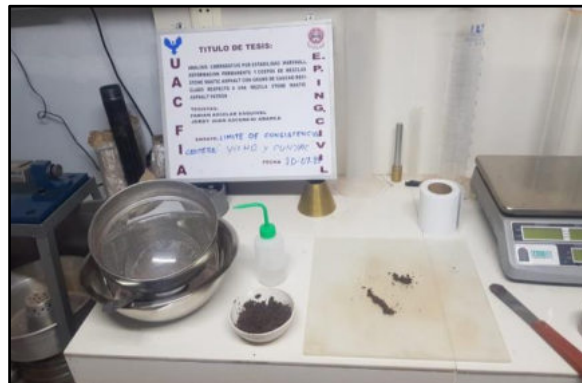
Fuente: Elaboración Propia

- Girar el manubrio de la copa casa grande, para que se levanta y suelte empleando una velocidad entre 1.9 a 2.1 golpes por segundo, hasta alcanzar que las mitades entren en contacto.
- Corroborar que no haya cierre prematuro debido a burbujas de aire.
- Registrar la cantidad de golpes N requeridos para que entren en contacto y colocar en una tara de peso conocido una parte de la muestra ensayada.
- Lavar, secar y fijar la copa a su soporte para la prueba siguiente con la caída requerida.
- Combinar toda la muestra y añadir agua destilada, para incrementar el contenido de humedad y reducir la cantidad de golpes necesarios para que entren en. Se llevará a cabo para un cierre que demanda entre 25 a 35 golpes, 20 a 30 golpes y 15 a 25 golpes.
- Hallar el contenido de humedad, apuntando el peso de las taras con muestra, para proceder a colocarlas al horno hasta obtener peso constante.
- Índice de Plasticidad.
 - NOTA: Si al realizar diversas pruebas a contenidos de humedad, la cantidad de golpes para cerrar la ranura es inferior a 25 o la pasta de suelo continúa deslizándose en la copa, se concluye que el límite no pudo determinarse, reportando al suelo sin plasticidad sin ejecutar el ensayo limite plástico



Figura 47

Determinación de Índice de Plasticidad - Ensayo de Índice de Plasticidad



Fuente: Elaboración Propia

d) Toma de datos

Tabla 71

Recopilación de Información del Ensayo de Índice de Plasticidad

	<u>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</u> UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA				
BASADO EN LA NORMA MTC E 110				
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u>		FECHA: <u>29/07/2021</u>		
<u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u>				
LUGAR: <u>Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS</u>				
MATERIAL: <u>Arena Triturada de la Cantera de Vicho y Arena de Río de la Cantera de Cunyac</u>				
LÍMITES DE CONSISTENCIA PARA FINOS - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%				
	LÍMITE LIQUIDO (gr)			LÍMITE PLASTICO
Tara Número	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda (A) gr	32.45	31.97	29.83	-
Peso Tara + Muestra Seca (B) gr	29.64	29.24	27.58	-
Peso de la Tara (C) gr	17.22	17.47	17.31	-
Peso de la Muestra Seca (Pms=B-C) gr				-
Peso del Agua (Pa=A-B) gr				-
Contenido de Humedad (Pa/Pms)				-
Numero de Golpes	18	22	23	-

Fuente: Elaboración Propia



3.5.12. Ensayo de azul de metileno - AASTHO TP 57.

a) Materiales y equipos

- Bureta.
- Agitador magnético.
- Azul de Metileno.
- Balanza.
- Varilla de vidrio.
- Agua destilada.
- Tamiz n° 200.
- Matraz volumétrico.
- Papel filtro.
- Vaso precipitado tipo griffin.

b) Preparación de la muestra

- Tamizar la arena triturada y arena de río por el tamiz n°200, el material pasante se mezcla en la proporción arena triturada 80% y arena fina 20% del peso respectivo requerido.

Figura 48

Tamizado de Muestra - Ensayo de Azul de Metileno



Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

- Colocar $10 \text{ g} \pm 0.05 \text{ g}$ de muestra, en un vaso volumétrico tipo griffin.
- Añadir 30ml de agua destilada y mezclar hasta tener una lechada.



Figura 49

Lechada de Muestra y Agua Destilada - Ensayo de Azul de Metileno



Fuente: Elaboración Propia

- Agregar 0.5 ml de solución de Azul de Metileno con la bureta a la lechada, mezclar por un minuto.

Figura 50

Combinación de Muestra con Solución de Azul de Metileno - Ensayo de Azul de Metileno



Fuente: Elaboración Propia

- Sobre el papel filtro, dejar caer una gota de lechada.
- Analizar la gota presente sobre el papel filtro, de presentar un aro azul en el contorno de la gota, de no formarse, continuar añadiendo solución de azul de metileno en incrementos



de 0.5 ml, agitando durante 1 minuto cada vez que se incremente, hasta la presencia del aro azul.

Figura 51

Aureola Azul - Ensayo de Azul de Metileno



Fuente: Elaboración Propia

- Alcanzando el punto, se agita por 5 minutos repitiendo el ensayo en el papel filtro, como método de validación. Si el aro azul persiste, la titulación ha culminado, procediendo a calcular el Valor de Azul.

Figura 52

Verificación de Aureola Azul - Ensayo de Azul de Metileno



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos.

Tabla 72

Recopilación de Información del Ensayo de Azul de Metileno

	FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL													
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN														
ENSAYO DE AZUL DE METILENO BASADO EN LA NORMA AASHTO TP 57														
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ FECHA: 03/07/2021 - 20/07/2021 Jordy Juan Ascencio Abarca _____ LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS MATERIAL: Arena Triturada de la Cantera de Vicho y Arena de Río de la Cantera de Cunyac														
AZUL DE METILENO PARA FINOS - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS DEL ENSAYO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Concentración de la solución de Azul de Metileno (mg/ml)</td> <td>C:</td> <td>5.00</td> </tr> <tr> <td>Solución de Azul de Metileno requerida en la titulación (ml)</td> <td>V:</td> <td>13.00</td> </tr> <tr> <td>Peso de material seco utilizado en la prueba (gr)</td> <td>W:</td> <td>10.00</td> </tr> </tbody> </table>			DATOS DEL ENSAYO			Concentración de la solución de Azul de Metileno (mg/ml)	C:	5.00	Solución de Azul de Metileno requerida en la titulación (ml)	V:	13.00	Peso de material seco utilizado en la prueba (gr)	W:	10.00
DATOS DEL ENSAYO														
Concentración de la solución de Azul de Metileno (mg/ml)	C:	5.00												
Solución de Azul de Metileno requerida en la titulación (ml)	V:	13.00												
Peso de material seco utilizado en la prueba (gr)	W:	10.00												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VALOR DE AZUL DE METILENO (VA)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">$VA = \frac{C \times V}{W}$</td> <td style="text-align: center;">mg/gr</td> </tr> </tbody> </table>			VALOR DE AZUL DE METILENO (VA)		$VA = \frac{C \times V}{W}$	mg/gr								
VALOR DE AZUL DE METILENO (VA)														
$VA = \frac{C \times V}{W}$	mg/gr													

Fuente: Elaboración Propia

3.5.13. Ensayo equivalente de arena – MTC E 114.

a) Materiales y equipos

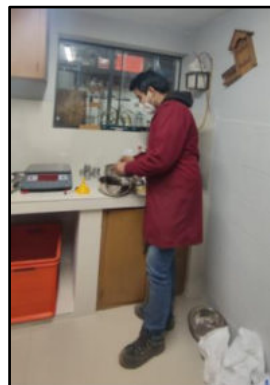
- Agua destilada.
- Botellas de 3.8 l (1gal).
- Probeta.
- Cloruro cálcico Anhidro, 454g (1,00 lb) de grado técnico.
- Dispositivo de pesado de pie.
- Embudo.
- Formaldehído, (40 volumen % solución) 47g (45 ml).
- Glicerina USP, 2050g (1 640 ml).
- Horno.
- Lata de medición, de diámetro 2 ¼” aproximado y 85±5ml de capacidad.
- Papel filtro.



- Platillo plano.
 - Reloj.
 - Tamiz N°4 (4,75mm).
 - Tapón de jebe.
 - Tubo irrigador.
- b) Preparación de la muestra
- Mezclar el material su totalidad y reducirla si es necesario, según NTP 339.089.
 - Empleando el tamiz n°4, tamizar la arena triturada y arena de, la muestra pasante se mezcla en la proporción arena triturada 80% y arena fina 20% del peso respectivo, para un peso de muestra total mínimo de 1500g, según el siguiente proceso:
 - Tamizar el material por la malla n°4, hasta observar que el residuo eliminado no supere el 1% por un periodo 1 minuto.
 - Desintegrar los grumos pasantes en la malla n°4.
 - Eliminar películas finas adheridas al árido grueso.
 - Añadir el material pasante del tamiz para disgregar la fracción fina del material.

Figura 53

Tamizado de Muestra - Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena



Fuente: Elaboración Propia

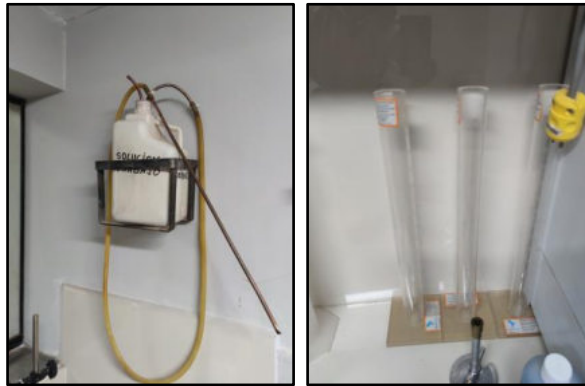
- Preparar los especímenes por cualquiera de los procedimientos A o B.
- c) Procedimiento
- En la preparación de ensayo se elige el procedimiento A o B, de acuerdo con el MTC E 114.
 - Ajustar el aparato del sifón a un recipiente de 1gal de la solución de trabajo de cloruro de calcio.



- Inicial el sifón enlazando al recipiente con un fragmento de tubo a su parte superior, a medida que se abre el sujetador.
- Sifonear $102 \pm 3\text{mm}$ ($4 \pm 0,1\text{pulg}$) de la solución de trabajo de cloruro cálcico en la probeta.

Figura 54

Proceso de Sifonear - Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena



Fuente: Elaboración Propia

- En la probeta usando el embudo echar una de las muestras ensayadas.
- Eliminar el contenido de aire a través de golpes en la base de la probeta con la palma de la mano para lograr un humedecimiento completo del espécimen.
- Conservar el espécimen humedecido e in disturbado por 10 min.
- Terminado los 10 min, invertir y sacudir la probeta con la finalidad de aflojar la muestra del fondo.
- Ya aflojado la muestra del fondo de la probeta, sacudir su contenido por uno de los siguientes tres métodos:
 - Método del agitador Mecánico
 - Método del agitador manual
 - Método Manual
- Disponer la probeta en una superficie plano y retirar el tapón de jebe.
- Procedimiento de irrigación:
 - Mantener la probeta en la mesa de trabajo e introducir el tubo irrigador e ir limpiando las paredes de la probeta progresivamente, para luego punzonar e girar la muestra y así lograr la suspensión de las partículas finas.
 - Continuar la acción anterior hasta lograr la marca de la probeta de 38cm. Retirar y enjuagar el tubo irrigador de modo que el nivel de fluido se mantenga alrededor de la marca de 38 cm.



Figura 55

Proceso de Irrigación - Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena

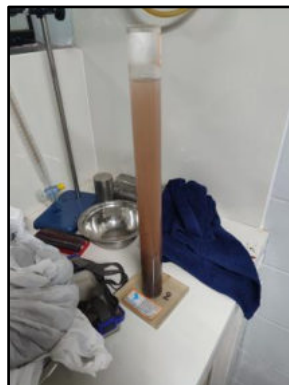


Fuente: Elaboración Propia

- Mantener el contenido de la probeta in disturbado por 20 min, tomando el tiempo al momento de sacar el tubo irrigador.

Figura 56

Proceso de In Disturbado - Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena



Fuente: Elaboración Propia

- Al culminar los 20 min, mantener la muestra in disturbada hasta alcanzar una lectura arcillosa; posteriormente registrar inmediatamente el tiempo transcurrido de sedimentación, teniendo en cuenta si excede los 30 minutos, realizar nuevamente el ensayo utilizando 3 especímenes. El espécimen que necesita menor tiempo en sedimentación registrar la altura de la columna de arcilla como lectura de arcilla.
- Registrado la lectura de arcilla, colocar el dispositivo de pesado de pie sobre la probeta y descender despacio el aparato, hasta topar con la arena. Impidiendo que el indicador rose el interior del cilindro, restar 25,4 cm del nivel indicado por el borde superior extremo del indicador y registrar este valor como la "lectura de arena".



Figura 57

Lectura de Arena - Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena



Fuente: Elaboración Propia

- Al tomar la lectura de arena, no oprimir el dispositivo de pesaje de pie, para evitar el error de lectura.
 - Registrar el nivel de gradación más alta, si la lectura de arcilla cae entre gradaciones de 2,5 mm.
- d) Toma de datos

Tabla 73

Recopilación de Información del Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena

 FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN			
ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA BASADO EN LA NORMA MTC E 114			
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u>		FECHA: <u>03/07/2021 - 20/07/2021</u>	
LUGAR: <u>Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS</u>			
MATERIAL: <u>Arena Triturada de la Cantera de Vicho y Arena de Río de la Cantera de Cunyac</u>			
EQUIVALENTE DE ARENA - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%			
N° de Ensayo	1	2	3
Hora de entrada	05.25	05.27	05.29
Hora de salida	05.35	05.37	05.39
Hora de entrada	05.37	05.39	05.41
Hora de salida	05.57	05.59	06.01
Lectura finos (pulg.)	4.30	4.40	4.40
Lectura de arena (pulg.)	4.10	4.20	4.20
% de equivalente de arena			
Equivalente de arena promedio			

Fuente: Elaboración Propia



3.5.14. Ensayo de angularidad de finos – MTC E 222.

- a) Materiales y equipos
 - Cilindro de volumen conocido.
 - Embudo.
 - Horno.
 - Marco metálico.
 - Regla.
 - Tamices n°8 y n°200.
 - Vernier.
- b) Preparación de la muestra
 - La muestra utilizada será la combinación arena triturada 80% y arena fina 20% del peso respectivo total.
- c) Procedimiento
 - Registrar las dimensiones del molde cilindro: altura y diámetro.
 - Pesar el molde cilindro de volumen conocido.
 - Realizar el secado del material en el horno hasta obtener peso constante.
 - Retirar el tamizado entre los tamices n°8 y n°200 y realizar el cuarteo.
 - Determinar la gravedad específica bruta (Gsb) del material.
 - Verter la muestra por el embudo hasta que rebose el molde cilíndrico.
 - Enrasar y pesar la muestra retenida más el cilindro.

Figura 58

Vertido de la Muestra - Ensayo de Angularidad



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla 74

Recopilación de Información del Ensayo de Angularidad

	FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN		
ENSAYO DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO BASADO EN LA NORMA MTC E 222		
<p>RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ FECHA: 01/08/2021 Jordy Juan Ascencio Abarca _____</p> <p>LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS _____</p> <p>MATERIAL: Arena Triturada de la Cantera de Vicho y Arena de Río de la Cantera de Cunyac _____</p>		
ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%		
Tamices Utilizados: N°8 Y N°200		
CARACTERISTICAS DEL CILINDRO		PESOS DEL CILINDRO Y MUESTRA
H	Dm	ARENA + CILINDRO (PW) (gr)
8 cm	5.01 cm	266.25 gr
VOLUMEN (V) cm ³	PESO (P) gr	ARENA (W) gr
157.71 cm ³	42.5 gr	224 gr
GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA		
Gsb (gr/cm ³)		2.48
ANGULARIDAD O % DE VACÍOS NO COMPACTADOS (A%)		
$A\% = \frac{V - \frac{w}{Gsb}}{V} * 100 =$		

Fuente: Elaboración Propia

3.5.15. Ensayo de durabilidad del agregado fino al sulfato de magnesio – MTC E 209.

a) Materiales y equipos

- Balanza de precisión.
- Bowls.
- Horno de secado.
- Pipeta.
- Probetas.
- Reactivos (solución de sulfato de sodio y magnesio).
- Serie de tamices: 3/8”, n°4, n°8, n°16, n°30, n°50 y n°100.
- Termómetro.



- b) Preparación de la muestra
- Realizar el lavado y secado del material hasta peso constante.
 - Pasar la muestra por el tamiz 3/8" y realizar el tamizado.
 - Obtener como mínimo 100 g de muestra en cada tamiz, reteniendo al menos el 5% del material tamizado.
- c) Procedimiento
- Colocar cada material tamizado en bowls y registrar sus pesos.
 - Introducir el material en la solución de sulfato de magnesio entre 16 h y 18 h, cubriendo la muestra al menos 1.5 cm.

Figura 59

Muestras en Solución de Sulfato de Magnesio - Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)



Fuente: Elaboración Propia

- Tapar los bowls para reducir la evaporación y prevenir las sustancias extrañas y mantener a una temperatura constante de 21°C durante el tiempo de inmersión.
- Pasado el periodo de inmersión, escurrir durante 15 min \pm 5 min.
- Secar las muestras a una temperatura oscilante entre 105 a 110°C en el horno, hasta conseguir un peso constante. Posteriormente retirar las muestras del horno y realizar el pesado en intervalos de 2 h a 4 h, se considera que tiene peso constante cuando 2 pesadas difieren en 1%.



Figura 60

Secado del Material en Horno - Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)



Fuente: Elaboración Propia

- Tamizar y pesar las muestras.
- d) Toma de datos

Tabla 75

Recopilación de Información del Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) de Agregados Finos

		FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS							
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN									
ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS FINOS									
BASADO EN LA NORMA MTC E 209									
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ Jordy Juan Ascencio Abarca _____				FECHA: 29/07/2021					
LUGAR: Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto - LABSUELOS									
MATERIAL: Arena Triturada de la Cantera de Vicho y Arena de Río de la Cantera de Cunyac									
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS FINOS - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%									
Tamices Utilizados: 3/8", N°4, N°8, N°16, N° 30, N° 50, N°100									
TAMIZ				1	2	3=(1-2)	4=(3/1)*100	5	6=(4*5)/100
PASA	RETIENE	PESO RETENIDO (gr)	BOWLS N°	PESO INICIAL EMPLEADO (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDAS PESO		GRADACIÓN ORIGINAL %	PÉRDIDAS CORREGIDAS %
						gr	%		
3/8"	N° 4	100	AG-1	0	0.00				
N° 4	N° 8	100	AG-2	110	109.45				
N° 8	N° 16	100	AG-3	110	108.35				
N° 16	N° 30	100	AG-4	110	106.70				
N° 30	N° 50	100	AG-5	110	104.50				
N° 50	N° 100	100	AG-6	110	102.85				

Fuente: Elaboración Propia



3.5.16. Ensayo de peso específico y absorción de agregados finos – MTC E 205.

- a) Materiales y equipos
- Agua Destilada.
 - Balanza de precisión.
 - Bomba de vacíos.
 - Embudo.
 - Cocina.
 - Recipiente Volumétrico o Fiola de 500 cm³ de capacidad.
 - Horno.
 - Molde cónico.
 - Piseta.
 - Varilla para apisonado
- b) Preparación de la muestra
- El agregado fino deberá estar lavado y seco, para la posterior recolección de una muestra representativa a través del método de cuarteo, la cual tendrá una proporción cercana a 1 kg.
 - Disponer la muestra en un bowl con agua para su respectivo reposo por 1 día. Posteriormente decantar el agua para dejar solo al material en el interior.
 - Luego tender el agregado en un área lisa para su secado, ir removiendo hasta que los gránulos no se aglutinen.
 - Por último, el agregado se dispone en un molde con forma cónica y se comienza dando golpes con la varilla para apisonado, debe repetirse la operación dos veces más, cumpliendo la suma de 25 golpes para compactar la muestra. Debiéndose llenar el cono, retirar el material excedente y quitando el molde:
 - Si mantiene la forma del molde, existe humedad libre, continuar secando.
 - Si al retirar el molde, la muestra se derrumba, nos indica que el material llegó al estado superficialmente seco.
- c) Procedimiento
- Habiendo cumplido el anterior paso se continua con la recolección de 500 gr de agregado, colocándolo en la fiola con el apoyo de un embudo para luego verter el agua hasta el hito de 500 cm³ de la fiola. Agitando el recipiente hasta liberar las burbujas retenidas de forma manual.



Figura 61

Frasco Volumétrico de 500 cm³ - Ensayo de Gravedad Específica y Absorción



Fuente: Elaboración Propia

- Se prepara 500 gr de muestra en forma paralela con la misma condición de muestreo, para luego secar a una temperatura de 110°C en el horno.

Figura 62

Muestra en Horno - Ensayo de Gravedad Específica y Absorción



Fuente: Elaboración Propia

- Después del proceso de extracción manual de burbujas, se repite el procedimiento con una bomba de vacíos para retirar el remanente de aire del frasco.
- Posteriormente se termina de verter agua hasta la marca del frasco para definir su peso total más el agregado y el agua.

Figura 63

Fiola más Material y Agua - Ensayo de Gravedad Específica y Absorción



Fuente: Elaboración Propia

- El material introducido en el horno se retira para definir su peso.

d) Toma de datos

Tabla 76

Recopilación de Información del Ensayo de Gravedad Específica y Absorción

SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	N° 1	PROMEDIO
	Peso del agregado seco al horno + Recipiente	gr	549	
	Peso del Recipiente	gr	66	
A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	483	
B	Peso del Picnómetro + Agua	gr	661	
C	Peso del Picnómetro + Agregado + Agua hasta la marca	gr	966	
D	Peso del material saturado superficialmente seco	gr	500	

Fuente: Elaboración Propia



3.5.17. Ensayo de adherencia – MTC E 517.

- a) Materiales y equipos
- Balanza de precisión.
 - Espátula de acero.
 - Horno.
 - Recipiente.
 - Tamices N°3/8" y 1/4".
- b) Preparación de la muestra
- Debe ser preparada una proporción del árido que pase la malla 3/8" y esté retenida en la malla de 1/4", se procederá a lavarse para retirar finos y secarse a una temperatura que oscile los 135 a 149°C dentro del horno, para luego hermetizarse.

Figura 64

Preparación del Material - Ensayo de Adherencia



Fuente: Elaboración Propia

- c) Procedimiento
- Calentar el agregado y asfalto por separado, así como la espátula, luego se debe agregar el asfalto al agregado y combinar con la ayuda de una espátula de 2 a 3 min., hasta observar que las partículas queden revestidas completamente para luego dejar enfriar.



Figura 65

Calentado de Asfalto y Revestimiento de Agregado - Ensayo de Adherencia



Fuente: Elaboración Propia

- Seguidamente se continua con la estimación de superficie cubierta por el asfalto como superior a 95% o inferior a 95%.

Figura 66

Estimación de Área Revestida - Ensayo de Adherencia



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla 77

Recopilación de Información del Ensayo de Adherencia

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
ENSAYO DE ADHERENCIA				
BASADO EN LA NORMA MTC E517				
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> FECHA: <u>25/08/2021</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u>				
LUGAR: <u>Laboratorio Labsuelos</u>				
MATERIAL: <u>Piedra Chancada de Vicho</u>				
ADHERENCIA DE AGREGADO GRUESO				
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">ASFALTO: PEN 85/100</td> </tr> </table>			ASFALTO: PEN 85/100	
ASFALTO: PEN 85/100				
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">ADHERENCIA:</td> <td style="padding: 5px; text-align: center;">+95%</td> </tr> </table>			ADHERENCIA:	+95%
ADHERENCIA:	+95%			

Fuente: Elaboración Propia

3.5.18. Ensayo de índice de durabilidad – MTC E 214.

- a) Materiales y equipos
- Agua destilada (agua neutra).
 - Balanza.
 - Equipo de Equivalente de Arena.
 - Horno.
 - Solución de Cloruro de Calcio-Stock.
 - Tamices
 - Vaso mecánico de lavado.
- b) Preparación de la muestra
- Adecuar una muestra utilizando la gradación:

Tabla 78

Gradación Preliminar - Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad

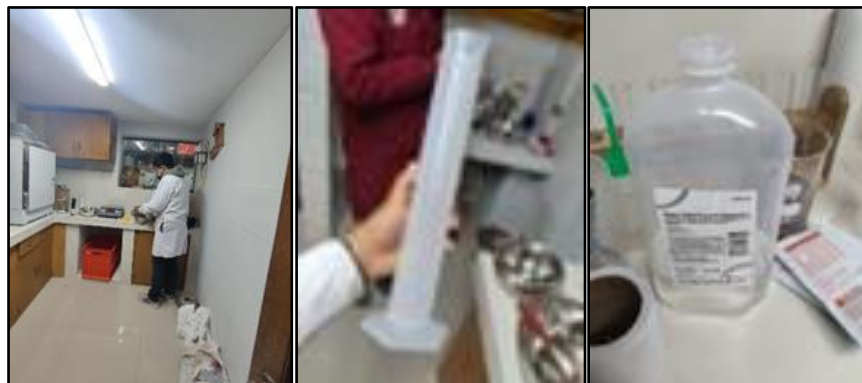
Tamaño del agregado	Peso seco al aire, g
19,0 a 12,4 mm (3/4" a 1/2")	1070 ± 10
12,5 a 9,5 mm (1/2" a 3/8")	570 ± 10
9,5 a 4,75 mm (3/8" a N°4)	910 ± 5
	2550 ± 25

Fuente: (MTC E214, 2016)

- Si las fracciones no alcanzan el 10%, incrementar hasta cumplir el 10% para obtener 2550 gr total de la muestra.
 - Se introduce el material en el interior del vaso mecánico, luego se añade 1000 ml de agua neutra, asegurando el recipiente en la máquina agitadora, pasado el periodo de 60 segundos, debe agitarse el recipiente por un periodo de 2 minutos.
 - Culminado ese tiempo debe tamizarse el contenido por la malla N°4 y secarse el retenido, si la pérdida de peso es igual o menor a 75 g, debe realizarse una muestra adicional.
- c) Procedimiento
- Preparar un cilindro de plástico, dentro del cual debe haber 7 ml de Cloruro de Calcio y también un recipiente recolector para el agua de enjuague, luego colocar el material en el vaso de lavado, añadiéndose agua destilada, para luego colocarlo en el agitador por 600 segundos.

Figura 67

Preparación de Cilindro Plástico y Agua Destilada - Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad



Fuente: Elaboración Propia



- Posterior al agitado, echar el material al colector mediante las mallas N°4 y N°200, descartar la muestra del tamiz N° 4, conservar el pasante de la N° 200 en el colector, añadir agua al colector hasta 1000 ml, luego verter en el cilindro de plástico hasta que llegue a 380 mm, luego tapar el tubo, y agitar.

Figura 68

Tamizado y Agitado de Material - Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad

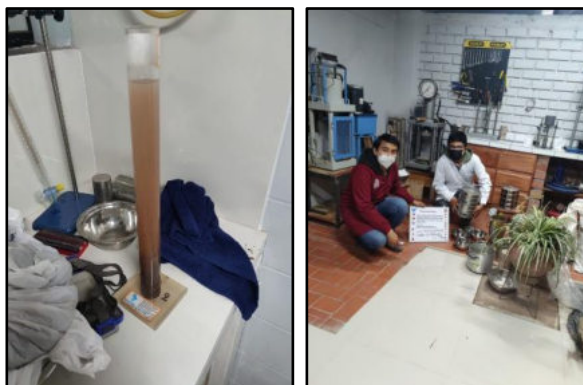


Fuente: Elaboración Propia

- Dejar que se asiente en el interior del cilindro por 20 minutos, luego proceder a leer la altura de sedimentación con una aproximación de 2.5 mm.

Figura 69

Lectura de Sedimentación - Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos.

Tabla 79

Recopilación de Información del Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad de Agregado Grueso

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN		
ENSAYO DE INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADO GRUESO		
BASADO EN LA NORMA MTC E214		
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ Jordy Juan Ascencio Abarca _____		FECHA: 05/08/2021 _____
LUGAR: Laboratorio Labsuelos _____		
MATERIAL: Piedra Chancada de Vicho _____		
INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO		
PRIMER CICLO		
Peso Tambor gr. (C)		1365
Numero de fragmentos		10
Peso Muestra gr.		1072
Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)		2437
Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)		2431
SEGUNDO CICLO		
Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)		2388
SDI (2)		
Agregado:		

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 80

Recopilación de Información del Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad de Agregado Fino

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																					
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN																						
ENSAYO DE INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADO FINO																						
BASADO EN LA NORMA MTC E214																						
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> FECHA: <u>05/08/2021</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u> LUGAR: <u>Laboratorio Labsuelos</u> MATERIAL: <u>Arena Triturada de Vicho (80%) y Arena de Rio de Cunyac (20%)</u>																						
INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #f4a460;">PRIMER CICLO</td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor gr. (C)</td> <td style="text-align: right;">1365</td> </tr> <tr> <td>Numero de fragmentos</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>Peso Muestra gr.</td> <td style="text-align: right;">912</td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)</td> <td style="text-align: right;">2277</td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)</td> <td style="text-align: right;">2275</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #f4a460;">SEGUNDO CICLO</td> </tr> <tr> <td>Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)</td> <td style="text-align: right;">2262</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #f4a460;">SDI (2)</td> </tr> <tr> <td>Agregado:</td> <td></td> </tr> </table>			PRIMER CICLO		Peso Tambor gr. (C)	1365	Numero de fragmentos	10	Peso Muestra gr.	912	Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)	2277	Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)	2275	SEGUNDO CICLO		Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)	2262	SDI (2)		Agregado:	
PRIMER CICLO																						
Peso Tambor gr. (C)	1365																					
Numero de fragmentos	10																					
Peso Muestra gr.	912																					
Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)	2277																					
Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)	2275																					
SEGUNDO CICLO																						
Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)	2262																					
SDI (2)																						
Agregado:																						

Fuente: Elaboración Propia

3.5.19. Sales solubles totales – MTC E 219.

- a) Materiales y equipos
- Agua destilada.
 - Balanza.
 - Estufa.
 - Matraces aforados.
 - Mecheros.
 - Pipetas.
 - Solución de Cloruro de Bario.
 - Solución de Nitrato de Plata.
 - Tubos de ensayo.



- Vasos de precipitado.
- b) Preparación de la muestra
- La proporción de agregado y aforo se indican en lo siguiente:

Tabla 81

Cantidad y Aforo Mínimo - Sales Solubles Totales

Agregado Pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (mL)
Grava 50 - 20 mm	1000	500
Grava 20 - 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

Fuente: (MTC E219, 2016)

- c) Procedimiento
- Colocar la muestra en horno hasta su secado, esta será designada muestra A.

Figura 70

Secado de Muestra - Sales Solubles Totales



Fuente: Elaboración Propia

- Luego poner la muestra en el interior del vaso de precipitación y cubrirla de agua por encima de 3 cm y calentarla, agitar 1 minuto, repetir esto 4 veces en 10 minutos.
- Verter el agua hasta que se note la transparencia, posteriormente trasvasar el líquido sobrenadante a 2 tubos de ensayo previamente preparado con reactivos y sales solubles, se deberá repetir el procedimiento hasta no presenciar sales.



Figura 71

Preparación de Reactivos - Sales Solubles Totales



Fuente: Elaboración Propia

- Luego de enfriados, vaciar los líquidos sobrenadantes a un matraz y llenar con agua destilada y esta masa será designada muestra B.

Figura 72

Masa B - Sales Solubles Totales



Fuente: Elaboración Propia

- Registrar una alícuota que contenga un volumen oscilante de 50 y 100ml de la muestra homogeneizada, determinar cómo muestra C.
- Después cristalizar en un horno a 100 °C, registrar como muestra D.

Figura 73

Cristalización de Muestra - Sales Solubles Totales



Fuente: Elaboración Propia

d) Toma de datos

Tabla 82

Recopilación de Información del Ensayo de Sales Solubles Totales para Agregado Grueso

	<p align="center">FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p>																					
<p align="center">TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN</p>																						
<p align="center">ENSAYO DE SALES SOLUBLES PARA AGREGADO GRUESO BASADO EN LA NORMA MTC E219</p>																						
<p>RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> FECHA: <u>25/07/2021</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u></p> <p>LUGAR: <u>Laboratorio Labsuelos</u></p> <p>MATERIAL: <u>Piedra Chancada de Vicho</u></p>																						
<p align="center">SALES SOLUBLES PARA AGREGADO GRUESO</p>																						
<table border="1"><thead><tr><th>SIMBOLO</th><th>DESCRIPCION</th><th>UNIDAD</th><th>CANTIDAD</th></tr></thead><tbody><tr><td>A</td><td>Masa inicial</td><td>gr</td><td>500</td></tr><tr><td>B</td><td>Aforo de matraz y enrasado con agua destilada</td><td>mL</td><td>500</td></tr><tr><td>C</td><td>Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL</td><td>mL</td><td>60</td></tr><tr><td>D</td><td>Masa de alicuota cristalizada</td><td>gr</td><td>55.95</td></tr></tbody></table>			SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	A	Masa inicial	gr	500	B	Aforo de matraz y enrasado con agua destilada	mL	500	C	Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL	mL	60	D	Masa de alicuota cristalizada	gr	55.95
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD																			
A	Masa inicial	gr	500																			
B	Aforo de matraz y enrasado con agua destilada	mL	500																			
C	Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL	mL	60																			
D	Masa de alicuota cristalizada	gr	55.95																			

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 83

Recopilación de Información del Ensayo de Sales Solubles Totales para Agregado Fino

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																						
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN																							
ENSAYO DE SALES SOLUBLES PARA AGREGADO FINO																							
BASADO EN LA NORMA MTC E219																							
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u>		FECHA: <u>25/07/2021</u>																					
LUGAR: <u>Laboratorio Labsuelos</u>																							
MATERIAL: <u>Arena Triturada de Vicho (80%) y Arena de Rio de Cunyac (20%)</u>																							
SALES SOLUBLES PARA AGREGADO FINO																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>SIMBOLO</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>UNIDAD</th> <th>CANTIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Masa inicial</td> <td>gr</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Aforo de matraz y enrasado con agua destilada</td> <td>mL</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL</td> <td>mL</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Masa de alicuota cristalizada</td> <td>gr</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>				SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	A	Masa inicial	gr	100	B	Aforo de matraz y enrasado con agua destilada	mL	120	C	Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL	mL	60	D	Masa de alicuota cristalizada	gr	50
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD																				
A	Masa inicial	gr	100																				
B	Aforo de matraz y enrasado con agua destilada	mL	120																				
C	Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL	mL	60																				
D	Masa de alicuota cristalizada	gr	50																				

Fuente: Elaboración Propia

3.5.20. Preparación de especímenes asfálticos S.M.A. compactados - ASTM D 6926.

a) Materiales y equipos

- Alicate.
- Balanzas de precisión.
- Bases, collares y briquetas Marshall.
- Bowls.
- Cocina.
- Espátulas.
- Eyector de muestras.
- Guantes.
- Horno.
- Lentes de protección.
- Martillo compactador.
- Máscaras antigases.
- Pedestal de compactación.
- Serie de tamices: $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ".
- Taras.



- Termómetro.
- b) Preparación de la muestra
- Previamente la muestra deberá estar lavada y seca.
 - Con el fin de elaborar un espécimen asfáltico se examinó la granulometría de los áridos y contenido de ligante asfáltico para conocer la cantidad de porcentaje de agregados (piedra chancada, arena, filler, fibra) que contendrá un espécimen de 1200 gr.
- c) Procedimiento
- Previamente a la preparación de probetas asfálticas se tomará en cuenta:
 - Sin grano de caucho reciclado: Probetas asfálticas para granulometría óptima y probetas asfálticas para contenido de ligante óptimo, para parámetros volumétricos, para estabilidad y flujo y daño inducido por humedad.
 - Con grano de caucho reciclado: Probetas asfálticas para grano de caucho reciclado óptimo, para parámetros volumétricos, para estabilidad y flujo y daño inducido por humedad.
 - Luego del pesado de agregados respecto a los porcentajes obtenidos en el diseño, se colocan en recipientes individuales a una temperatura cercana a los 135°C en un horno, con la finalidad de simular las circunstancias reales de preparación y favorecer la combinación, asimismo se calentarán el molde Marshall.

Figura 74

Preparación y Pesado de Agregados - Preparación de Especímenes Asfálticos S.M.A. Compactados



Fuente: Elaboración Propia



- Calentar el asfalto hasta llegar al estado líquido para pesarlo y obtener el porcentaje deseado.

Figura 75

Calentado de Asfalto - Elaboración de Probetas Asfálticas S.M.A. Compactadas



Fuente: Elaboración Propia

- Los agregados deberán estar calentados previamente para luego ser añadidos a la mezcla. En primer lugar, se agregará el árido grueso, luego el asfalto que lo recubrirá y por último el fino, junto con filler, hasta que el asfalto recubra toda la mezcla (temperatura mínima 135°C).

Figura 76

Preparación de Mezcla - Elaboración de Probetas Asfálticas S.M.A. Compactadas



Fuente: Elaboración Propia

- Se prepara el pedestal de compactación, molde y collar (previamente calentados), colocando papel filtro en la base para evitar la merma de material.
- Se continua con el colocado del preparado en el interior del molde Marshall, seguidamente se chucea con una varilla 10 veces en el centro y 15 veces en el perímetro de la muestra.



Figura 77

Colocado de Mezcla - Elaboración de Probetas Asfálticas S.M.A. Compactadas



Fuente: Elaboración Propia

- Dar 50 golpes por cara con el martillo de compactación.
- Emplear otro trozo de papel filtro en la cara opuesta al término de la compactación.

Figura 78

Compactado de Mezcla - Elaboración de Probetas Asfálticas S.M.A. Compactadas



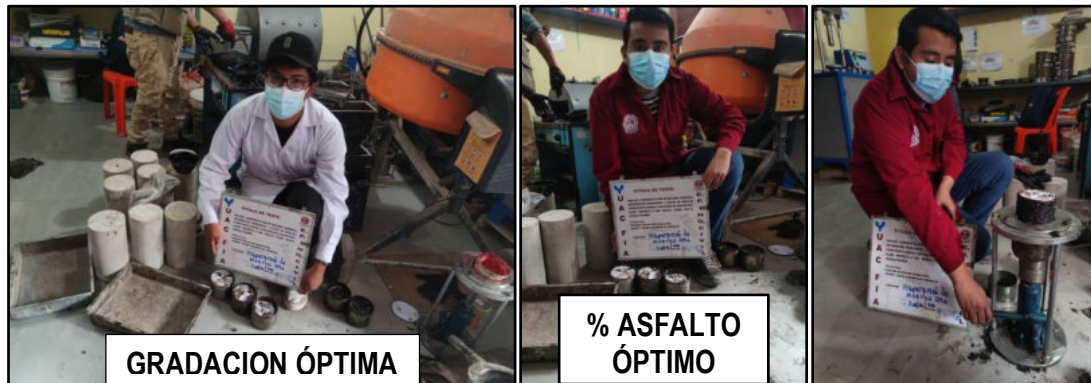
Fuente: Elaboración Propia

- Esperar que enfríe la briqueta con la probeta asfáltica para su posterior extracción con el eyector de especímenes.



Figura 79

Extracción de Espécimen - Elaboración de Probetas Asfálticas S.M.A. Compactadas



Fuente: Elaboración Propia

- Etiquetar las muestras para su identificación.
- Guardar la muestra a temperatura ambiente por 24 hrs previo a cualquier ensayo.

3.5.21. Ensayo de gravedad específica bulk para parámetros volumétricos del diseño para S.M.A. (gradación óptima y % de asfalto óptimo) – AASHTO T 166.

a) Materiales y equipos

- Balanza de precisión 0.1g.
- Balde de 20 L.
- Brochas.
- Canastilla metálica.
- Franela.
- Parafina líquida.

b) Preparación de la muestra

- Probetas asfálticas compactadas de acuerdo con:
 - Granulometría óptima: Combinación granulométrica “A”, Combinación granulométrica “B” y Combinación granulométrica “C”.
 - Proporción de ligante óptimo: % de Cemento Asfáltico “1”, % de Cemento Asfáltico “2”, % de Cemento Asfáltico “3” y % de Cemento Asfáltico “4”.

c) Procedimiento

- Efectuar el procedimiento para elaboración de especímenes compactados.
- Pesar los especímenes a temperatura ambiente.



Figura 80

Pesado a Temperatura Ambiente - Ensayo de Gravedad Específica Bulk para Diseño del S.M.A. (Combinación Granulométrica Óptima y % de Ligante Óptimo)



Fuente: Elaboración Propia

- Introducir la muestra en agua hasta que esté completamente sumergida por alrededor de 10 minutos, la cual deberá estar anclada a una balanza de precisión de 0.1 g y registrar el peso.

Figura 81

Peso Sumergido - Ensayo de Gravedad Específica Bulk para Diseño del S.M.A. (Combinación Granulométrica Óptima y % de Ligante Óptimo)

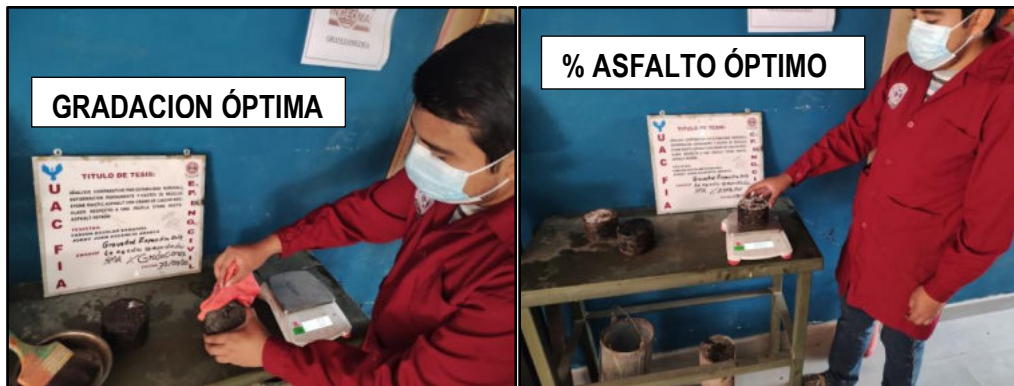


Fuente: Elaboración Propia

- Sacar del agua la muestra y secar superficialmente con una franela, posterior a ello pesar para obtener peso superficialmente seco.

Figura 82

*Peso Superficialmente Seco - Ensayo de Gravedad Específica Bulk para Diseño del S.M.A.
(Combinación Granulométrica Óptima y % de Ligante Óptimo)*



Fuente: Elaboración Propia

d) Toma de datos

Tabla 84

*Recopilación de Información del Ensayo de Gravedad Específica Bulk de S.M.A. –
Combinación Granulométrica Óptima*

FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA - GRADACIÓN ÓPTIMA				
BASADO EN LA NORMA AASHTO T166				
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u>		FECHA: <u>29/04/2022-30/04/2022</u>		
LUGAR: <u>Laboratorio Ingeomat</u>				
MATERIAL: <u>Mezclas Asfálticas S.M.A</u>				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD	WSUB	WSSD	Gmb
	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso en su condición SSD en el aire (gr)	Gravedad Específica Bulk del Especimen
GRADACION "A"	1530	1108	1778	
	1542	1112	1785	
	1536	1118	1791	
PROMEDIO				
GRADACION "B"	1565	1128	1802	
	1571	1135	1811	
	1559	1130	1807	
PROMEDIO				
GRADACION "C"	1582	1142	1812	
	1589	1151	1817	
	1592	1147	1815	
PROMEDIO				

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 85

Recopilación de Información del Ensayo de Gravedad Específica Bulk de S.M.A. - % Ligante Óptimo

FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA - % ASFALTO ÓPTIMO				
BASADO EN LA NORMA AASHTO T166				
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u>		FECHA: <u>06/05/2022-07/05/2022</u>		
LUGAR: <u>Laboratorio Ingeomat</u>				
MATERIAL: <u>Mezclas Asfálticas S.M.A</u>				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD	WSUB	WSSD	Gmb
	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso en su condición SSD en el aire (gr)	Gravedad Especifica Bulk del Especimen
ASFALTO "1" (6%)	1530	1108	1778	
	1542	1112	1785	
	1536	1118	1791	
	PROMEDIO			
ASFALTO "2" (6.5%)	1232	1136	1675	
	1241	1137	1680	
	1253	1339	1687	
	PROMEDIO			
ASFALTO "3" (7%)	1218	1124	1655	
	1220	1118	1651	
	1229	1111	1646	
	PROMEDIO			
ASFALTO "4" (7.5%)	1205	1107	1633	
	1209	1104	1631	
	1212	1103	1630	
	PROMEDIO			

Fuente: Elaboración Propia

3.5.22. Ensayo de escurrimiento – ASTM D 6390.

a) Materiales y equipos

- Alicates.
- Balanzas de precisión.
- Canastillas para escurrimiento de abertura de 6.3 mm (1/4”).
- Espátulas.
- Cocina.
- Guantes.
- Horno Eléctrico.
- Lentes de protección.
- Máscaras antigases.



- Recipientes metálicos o bowls.
 - Taras.
 - Termómetro.
- b) Preparación de la muestra
- Previamente la muestra deberá estar lavada y seca.
 - Se separan los agregados de acuerdo con los porcentajes establecidos de la gradación optima.
 - Anteriormente para cada probeta asfáltica se realizó el análisis de graduación y porcentaje para definir una cantidad de agregado en un espécimen de 1200 gr, pesándolos y separándolos en bowls.
 - En cuanto a la fibra celulosa se separan en bowls de acuerdo con la proporción requerida respecto al peso de la probeta.
 - Se elaboran canastillas con rendijas de $\frac{1}{4}$ " en acorde a lo normado por ASTM D 6390, cumpliendo las dimensiones siguientes:
 - Altura de canastilla: 16.5 cm
 - Diámetro de canastilla: 10.8 cm
 - Colocación de base circular a 2.5 cm de la base de la canastilla

Figura 83

Canastillas de Escurrimiento - Ensayo de Escurrimiento



Fuente: Elaboración Propia

- c) Procedimiento
- Para la preparación de mezclas asfálticas se tomará en cuenta:
 - Sin fibra celulosa.
 - Con fibra celulosa de papel bond.
 - Se pesará las canastillas y bandejas metálicas, etiquetándolos para su identificación.



- Luego del pesado de agregados, en recipientes separados se colocan a una temperatura de 135°C dentro de un horno, con la finalidad de simular las circunstancias reales y favorecer la combinación, asimismo se calentará el molde Marshall.

Figura 84

Pesado de Canastilla y Calentado de Agregados - Ensayo de Escurrimiento



Fuente: Elaboración Propia

- Calentar el asfalto hasta llegar al estado líquido para pesarlo y obtener el porcentaje deseado.
- En la mezcla primero se agregará el árido grueso, luego el asfalto que lo recubrirá y por último el fino, junto con filler, hasta que el asfalto recubra toda la mezcla (temperatura mínima 135°C), el agente estabilizante se agregará en su totalidad para continuar el mezclado.

Figura 85

Mezclado de Agregados y Asfalto - Ensayo de Escurrimiento



Fuente: Elaboración Propia

- Verificar la temperatura de 135°C como mínima.
- Luego se dispone el aglomerado no compactado en el interior de las canastillas, permitiendo que enfríe a temperatura ambiente para después tomar su peso con la mezcla.

Figura 86

Pesado de Canastilla con Mezcla - Ensayo de Escurrimiento



Fuente: Elaboración Propia

- Continuando se pone la canastilla con muestra sobre las bandejas y se coloca dentro del horno por un periodo de 1 hr.



Figura 87

Colocado de Canastilla en Horno - Ensayo de Esgurrimiento



Fuente: Elaboración Propia

NOTA: Las temperaturas para para los dos grupos de muestras serán de 165°C y 175°C.

- Luego de culminado el tiempo extrae la bandeja con las canastillas del horno, dejando que alcance la temperatura ambiental. Para proceder con la toma de peso de la bandeja sin la canastilla.

Figura 88

Toma de Peso después del Horno - Ensayo de Esgurrimiento



Fuente: Elaboración Propia



Figura 90

Pesado a Temperatura Ambiente - Ensayo de Gravedad Específica Bulk (% de GCR Óptimo)



Fuente Elaboración Propia

- Introducir la muestra en agua hasta que esté completamente sumergida por alrededor de 10 minutos, la cual deberá estar anclada a una balanza de precisión de 0.1 g y registrar el peso.

Figura 91

Peso Sumergido - Ensayo de Gravedad Específica Bulk (% de GCR Óptimo)



Fuente: Elaboración Propia

- Sacar del agua la muestra y secar superficialmente con una franela, posterior a ello pesar para obtener peso superficialmente seco.



Figura 92

Peso Superficialmente Seco - Ensayo de Gravedad Específica Bulk (% de GCR Óptimo)



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla 87

Recopilación de Información del Ensayo de Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas S.M.A. - Sin y Con GCR

FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA - SIN Y CON GCR				
BASADO EN LA NORMA AASHTO T166				
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u>		FECHA: <u>16/06/2022-17/06/2022</u>		
LUGAR: <u>Laboratorio Ingeomat</u>				
MATERIAL: <u>Mezclas Asfálticas S.M.A con Grano de Caucho Reciclado</u>				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD	WSUB	WSSD	Gmb
	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso en su condición SSD en el aire (gr)	Gravedad Especifica Bulk del Especimen
SIN GCR	1270.01	711.18	1273.1	
	1222.08	742.41	1274.11	
	1350.14	753.1	1356.1	
	PROMEDIO			
CON GCR AL 5%	1404	793.6	1456.1	
	1580	874.7	1582.7	
	1299	654.9	1318.1	
	PROMEDIO			
CON GCR AL 10%	1267	655.8	1272.9	
	1167	619	1175.6	
	1257	661.7	1262.2	
	PROMEDIO			
CON GCR AL 15%	1459	738.5	1470.8	
	1166	564.4	1149.9	
	1274	682.6	1284.6	
	PROMEDIO			
CON GCR AL 20%	1110	556.1	1122.7	
	1326	685.2	1336	
	1075	551	1091.5	
	PROMEDIO			

Fuente: Elaboración Propia

3.5.24. Ensayo de estabilidad y flujo Marshall – MTC E 504.

a) Materiales y equipos

- Baño María.
- Cabezal de Ruptura.
- Dispositivo de Medida de Carga.
- Guantes.
- Máquina de Estabilidad Marshall.

- Medidor de Flujo.
 - Termómetro.
 - Vernier.
- b) Preparación de la muestra
- Probetas asfálticas compactadas de acuerdo con las siguientes especificaciones:
 - Mezcla Patrón: Sin GCR.
 - % Óptimo GCR: Con GCR.
- c) Procedimiento
- Efectuar el procedimiento para elaboración de especímenes compactados.

Figura 93

Preparación de Mezclas sin y con GCR - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall



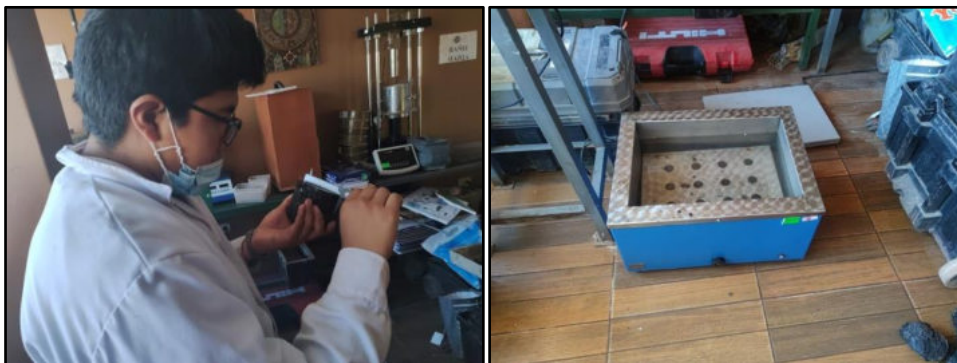


Fuente: Elaboración Propia

- Se continua con el registro de las dimensiones (espesor, diámetro) de los especímenes.

Figura 94

Medición de Altura y Diámetro de Probetas - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall



Fuente: Elaboración Propia

- Por otra parte, se prepara el baño María a una temperatura aproximada a los 60°C para la introducción de muestras por un tiempo de 40 min.

Figura 95

Baño María a 60 °C - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall



Fuente: Elaboración Propia

- Seguidamente se realiza la limpieza del cabezal de ruptura y removiendo antes la probeta del agua (no debe exceder 1 minuto) para colocarla en el cabezal.



Figura 96

Colocado de Cabezal - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall



Fuente: Elaboración Propia

- Se prepara la máquina de estabilidad Marshall, colocando el medidor de flujo que debe ser sostenido sobre la parte superior en el proceso. Finalmente se pone en marcha la máquina, la cual aplica una carga sostenida a velocidad constante de 50 mm/min, se registra este proceso hasta que la carga disminuya. Se deben registrar la estabilidad y flujo de los respectivos diales.

Figura 97

Colocado de Probetas - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla 88

Recopilación de Información del Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall de Mezclas Asfálticas S.M.A. con Agente Estabilizante

		FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS							
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN									
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL									
BASADO EN LA NORMA MTC E504									
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u>					FECHA: <u>25/06/2022-26/06/2022</u>				
Jordy Juan Ascencio Abarca									
LUGAR: <u>Laboratorio Ingeomat</u>									
MATERIAL: <u>Mezclas Asfálticas S.M.A con Grano de Caucho Reciclado</u>									
ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA CON AGENTE ESTABILIZANTE									
ESTABILIDAD MARSHALL									
MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1	2	3	4	1	2	3	4
		DIAMETRO APROX. DEL ESPECÍMEN				ALTURA APROX. DEL ESPECÍMEN			
	kgf	cm				cm			
S-GCR-1	1945.08	10.15	10.15	10.10	10.15	6.95	6.95	7.05	6.95
S-GCR-2	1865.04	10.10	10.10	10.00	10.10	6.65	6.85	6.90	6.70
S-GCR-3	1914.94	10.15	10.25	10.15	10.15	6.90	6.55	6.50	6.50
GCR-O-1	1372.95	10.25	10.25	10.20	10.20	6.60	6.50	6.70	6.60
GCR-O-2	1481.15	10.10	10.20	10.20	10.30	8.70	8.50	8.70	8.80
GCR-O-3	831.45	10.10	10.20	10.10	10.20	8.70	9.00	8.70	8.70

FLUJO MARSHALL	
MUESTRA	FLUJO
	0.01 pulg. (0.25 mm)
S-GCR-1	5.10
S-GCR-2	6.80
S-GCR-3	7.20
GCR-O-1	8.20
GCR-O-2	8.90
GCR-O-3	9.20

Fuente: Elaboración Propia

3.5.25. Ensayo de resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad – MTC E 522.

- a) Materiales y equipos
- Balanzas de precisión.
 - Baño María.
 - Bases, collares y briquetas Marshall.



- Bolsas plásticas a prueba de goteo.
- Cesta de alambre o canastilla metálica.
- Compactador de mezclas asfálticas.
- Dial de Carga.
- Equipo de flotación con baño de agua.
- Espátulas y cuchillo.
- Estufa.
- Eyector de muestras.
- Franelas.
- Horno eléctrico.
- Lottman y acoples para tracción indirecta.
- Máquina de estabilidad Marshall.
- Martillo de compactación.
- Probeta.
- Recipientes metálicos o bowls.
- Refrigeradora.
- Regla metálica.
- Termómetro.
- Vernier.

b) Preparación de la muestra

- Probetas asfálticas compactadas de acuerdo con las siguientes especificaciones:
 - Mezcla patrón (Sin GCR): Húmedo y Seco
 - % Óptimo GCR (Con GCR): Húmedo y Seco
- Efectuar el procedimiento para preparación de probetas compactadas.

c) Procedimiento

EVALUACIÓN Y AGRUPAMIENTO DE ESPECÍMENES

- Determinar el contenido de vacíos de cada probeta para luego separarlos en subgrupos de acuerdo con el promedio similar que se obtenga.

Figura 99

Agrupamiento de Especímenes - Ensayo de Daño Inducido por Humedad



Fuente: Elaboración Propia

PRE ADAPTAMIENTO DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

Se separaron las probetas en dos subgrupos:

SUB GRUPO SECO

- En este subgrupo los especímenes se envolverán en bolsas de plástico para evitar el contacto con el agua, ya que serán colocada en baño de agua a 25 °C por 2 hrs, el agua debe estar 1" por encima de las probetas.

Figura 100

Embolsado y Baño María de Sub Grupo Seco - Ensayo de Daño Inducido por Humedad



Fuente: Elaboración Propia

- Retirar del agua para el registro de su altura y diámetro. Colocar en los acoples de tracción indirecta (Lottman) y disponerlo en la máquina Marshall, la cual aplicara una carga sostenida a una velocidad constante de 50 mm/min a lo largo del diámetro. Anotar la marca del dial ya que este indicara el esfuerzo máximo a compresión, continuar con el ensayo hasta la aparición de una fisura vertical, retirar e inspeccionar la fisura.

Figura 101

Rotura de Especímenes Sub Grupo Seco - Ensayo de Daño Inducido por Humedad





Fuente: Elaboración Propia

SUB GRUPO HÚMEDO

- Se deberá envolver en bolsas de plásticos las probetas, las cuales deberán contener 10 mm de agua, para luego cerrarlas.

Figura 102

Embolsado de Especímenes Sub Grupo Húmedo - Ensayo de Daño Inducido por Humedad



Fuente: Elaboración Propia

- Después colocarlas en una refrigeradora a una temperatura de -18°C por un periodo de 16 hrs, removerlos pasado ese tiempo.



Figura 103

Refrigeración de Especímenes Sub Grupo Húmedo - Ensayo de Daño Inducido por Humedad



Fuente: Elaboración Propia

- Introducir la muestra en baño María a una temperatura cercana a los 60°C hasta que esté completamente sumergida por alrededor de 24 hrs,

Figura 104

Baño María Sub Grupo Húmedo - Ensayo de Daño Inducido por Humedad





Fuente: Elaboración Propia

- Pasado ese periodo se deben sacar de las bolsas y disponerlas en baño María a 25 °C por alrededor de 2 hrs, debiendo tener 1" de agua por encima.

Figura 105

Desembolsado y Baño María Sub Grupo Húmedo - Ensayo de Daño Inducido por Humedad



Fuente: Elaboración Propia

- Retirar del agua para el registro de su altura y diámetro. Colocar en los acoples de tracción indirecta (Lottman) y disponerlo en la máquina Marshall, la cual aplicara una carga sostenida a una velocidad constante de 50 mm/min a lo largo del diámetro. Anotar la marca del dial ya que este indicara el esfuerzo máximo a compresión, continuar con el ensayo hasta la aparición de una fisura vertical, retirar e inspeccionar la fisura.



Figura 106

Rotura de Especímenes Sub Grupo Húmedo - Ensayo de Daño Inducido por Humedad



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla 89

Recopilación de Información del Ensayo de Daño Inducido por Humedad - Sin y Con GCR

CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS SMA		1	2	3	4	1	2	3	4	P
		DIAMETRO DE LA PROBETA				ALTURA DE LA PROBETA				CARGA MÁXIMA
		cm				cm				(kgf)
CONDICION SECA	S-GCR-3	10.10	10.10	10.10	10.20	6.40	6.40	6.60	6.70	4133.81
	S-GCR-4	10.10	10.20	10.10	10.20	6.90	7.30	6.80	7.10	4047.10
	S-GCR-6	10.10	10.10	10.20	10.15	6.50	6.90	6.70	6.40	4105.15
	GCR-O-1	10.10	10.15	10.25	10.10	8.10	8.15	8.50	8.35	4381.14
	GCR-O-4	10.00	10.00	9.90	10.10	7.80	7.90	8.00	7.90	4484.70
	GCR-O-6	10.05	10.05	10.20	10.10	8.40	8.40	8.60	8.50	4632.62
CONDICION HUMEDA	S-GCR-1	10.15	10.15	10.10	10.15	6.60	6.80	6.70	6.90	3526.35
	S-GCR-2	10.10	10.15	10.15	10.25	6.85	6.50	6.50	6.80	3591.82
	S-GCR-5	10.10	10.10	10.10	10.15	6.50	6.70	6.90	6.70	3659.80
	GCR-O-2	10.15	10.15	10.20	10.15	8.00	7.80	7.70	7.70	3842.11
	GCR-O-3	10.20	10.10	10.10	10.10	8.50	8.40	8.30	8.50	3990.09
GCR-O-5	10.20	10.20	10.50	10.10	7.90	7.90	8.20	8.10	4069.68	

Fuente: Elaboración Propia

3.5.26. Ensayo de la rueda cargada de Hamburgo – AASHTO T 324.

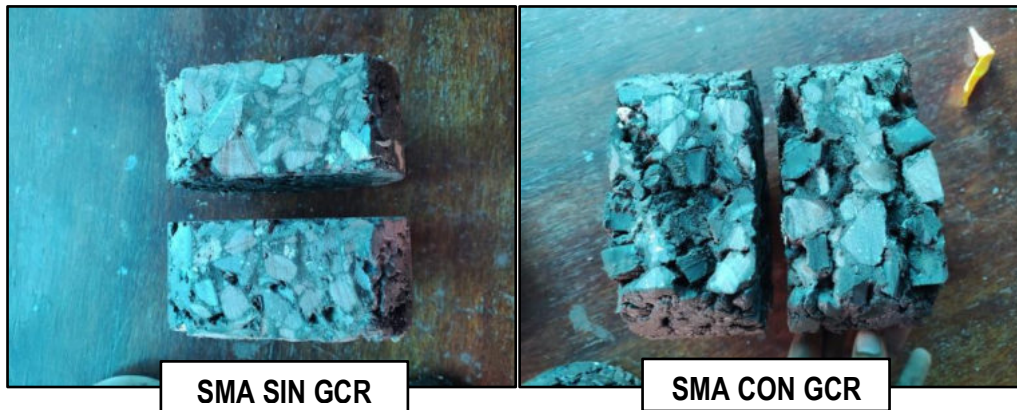
- a) Materiales y equipos
 - Rueda cargada de Hamburgo.
 - Sistema de montaje de espécimen cilíndrico.
- b) Preparación de la muestra
 - Preparar 4 especímenes cilíndricos por ensayo de 6” de diámetro y 2.5” de espesor, con un contenido de vacíos de 4 %.
 - Probetas asfálticas compactadas de acuerdo con las siguientes especificaciones:
 - Mezcla Patrón: Sin GCR.
 - % Óptimo GCR: Con GCR.
 - Efectuar el procedimiento para elaboración de especímenes compactados.

- Se cortarán los especímenes con una sierra a una distancia de 16 mm al centro de la probeta al borde exterior.

NOTA: La porción de material aserrado varia, siendo no mayor a 7.5 mm entre moldes.

Figura 107

Cortado de Especímenes de 6" de Diámetro - Sin y Con GCR



Fuente: Elaboración Propia

- Determinar la gravedad específica bruta del espécimen (G_{mb}).

Figura 108

Determinación de Gravedad Específica Bruta del Especimen - Sin y Con GCR



Fuente: Elaboración Propia



- Continuar con la determinación de la gravedad específica teórica máxima (Gmm).
- c) Procedimiento
- Disponer las probetas en los moldes de polietileno, para luego colocar las bandejas de montajes en el equipo ajustando la altura.

Figura 109

Colocado de Muestras en Moldes y Bandejas de Montaje



Fuente: Elaboración Propia

- Se enciende la Rueda Cargada de Hamburgo (Cox Hamburg Wheel Tracker) e iniciar el software de la empresa COX & SONS (CRT-WTIM Test Setup [AASHTO T324]), para introducir los datos, información y configuración del ensayo (temperatura de 50 °C, profundidad máxima de rodera de 12.5 mm y la cifra de 20000 para el máximo número de pasadas).

Figura 110

Encendido y Configuración de la Rueda Cargada de Hamburgo



Fuente: Elaboración Propia

- Seguidamente llenar el baño de agua incorporado dentro del equipo a una temperatura aproximada de 50° C.



- Pre acondicionar las probetas de prueba en el baño por media hora después de que haya alcanzado la temperatura deseada, no deben estar más de 1 hr sumergido antes de iniciar el ensayo (incluido tiempo de acondicionamiento).

Figura 111

Preacondicionamiento de Especímenes en la Rueda Cargada de Hamburgo

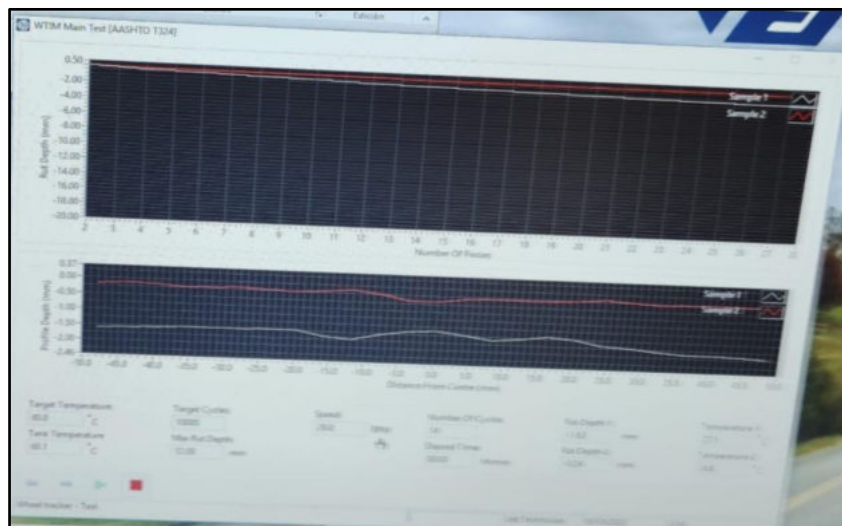


Fuente: Elaboración Propia

- Se hacen descender las ruedas sobre los especímenes (no debiendo estar en contacto más de 5 minutos antes del inicio de la prueba).
- Asegurar el Sistema de medición de rodera a 12.5 mm.
- Iniciar el ensayo.

Figura 112

Esquema al iniciar el ensayo



Fuente: Elaboración

- La rueda se detendrá cuando haya efectuado número de pasadas especificadas o se haya alcanzado la profundidad de rodera máxima.



Figura 113

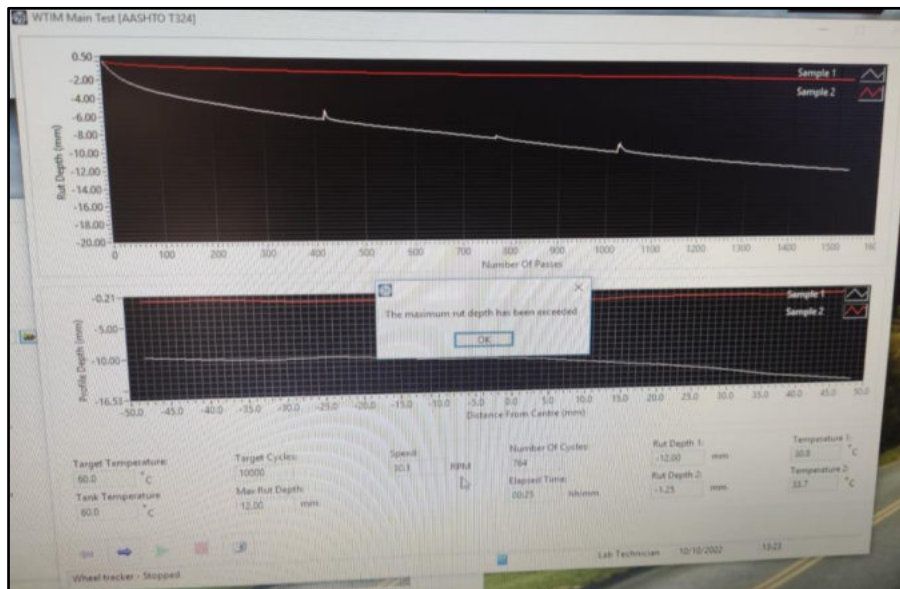
Deformación Permanente en Muestras - Sin y Con GCR



Fuente: Elaboración Propia

Figura 114

Esquema al alcanzar la profundidad de rodera máxima



Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla 90

Recopilación de Información del Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo - Sin y Con GCR

	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																						
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN																							
ENSAYO DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO																							
BASADO EN LA NORMA AASHTO T 324																							
RESPONSABLES: <u>Fabian Aguilar Esquivel</u> <u>Jordy Juan Ascencio Abarca</u>		FECHA: <u>10/10/2022</u>																					
LUGAR: <u>Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil</u>																							
MATERIAL: <u>Mezclas Asfálticas S.M.A sin y con Grano de Caucho Reciclado de 6"</u>																							
DEFORMACION PERMANENTE																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DATOS DEL ENSAYO</th> <th>SMA SIN GCR</th> <th>SMA CON GCR OPTIMO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo de Muestra</td> <td>Doble núcleo</td> <td>Doble núcleo</td> </tr> <tr> <td>Diámetro</td> <td>150 mm</td> <td>150 mm</td> </tr> <tr> <td>Espesor</td> <td>60 mm</td> <td>75 mm</td> </tr> <tr> <td>Temperatura</td> <td>50 °C</td> <td>50 °C</td> </tr> <tr> <td>Número de Pasadas</td> <td>1528</td> <td>1528</td> </tr> <tr> <td>Profundidad de Huella</td> <td>1.25 mm</td> <td>12 mm</td> </tr> </tbody> </table>	DATOS DEL ENSAYO	SMA SIN GCR	SMA CON GCR OPTIMO	Tipo de Muestra	Doble núcleo	Doble núcleo	Diámetro	150 mm	150 mm	Espesor	60 mm	75 mm	Temperatura	50 °C	50 °C	Número de Pasadas	1528	1528	Profundidad de Huella	1.25 mm	12 mm		
DATOS DEL ENSAYO	SMA SIN GCR	SMA CON GCR OPTIMO																					
Tipo de Muestra	Doble núcleo	Doble núcleo																					
Diámetro	150 mm	150 mm																					
Espesor	60 mm	75 mm																					
Temperatura	50 °C	50 °C																					
Número de Pasadas	1528	1528																					
Profundidad de Huella	1.25 mm	12 mm																					

Fuente: Elaboración Propia

3.6. Procedimiento de Análisis de Datos.

3.6.1. Ensayo de los componentes de la mezcla.

3.6.1.1. Ensayo de granulometría de los agregados.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso Retenido} * 100}{\text{Total Retenido}}$$

$$\text{Para A. G. de } 3/4", \% \text{ Retenido en Malla } 3/4" = \frac{6020.47 * 100}{10002.10} = 60.19\%$$

$$\text{Retenido Acumulado} = \sum \text{Retenido acumulados} + \text{Retenido de la malla}$$

$$\text{Para A. G. de } 3/4" \text{ Ret. Acum. en Malla } 1/2" = 6020.47 + 3774.11 = 9794.58 \text{ gr}$$



$$\% \text{Retenido Acumulado} = \frac{\text{Peso Retenido Acumulado} * 100}{\text{Total Retenido}}$$

$$\text{Para A. G. de } 3/4", \% \text{ Ret. Acum. en Malla } 1/2" = \frac{9794.58 * 100}{10002.10} = 97.93\%$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado}$$

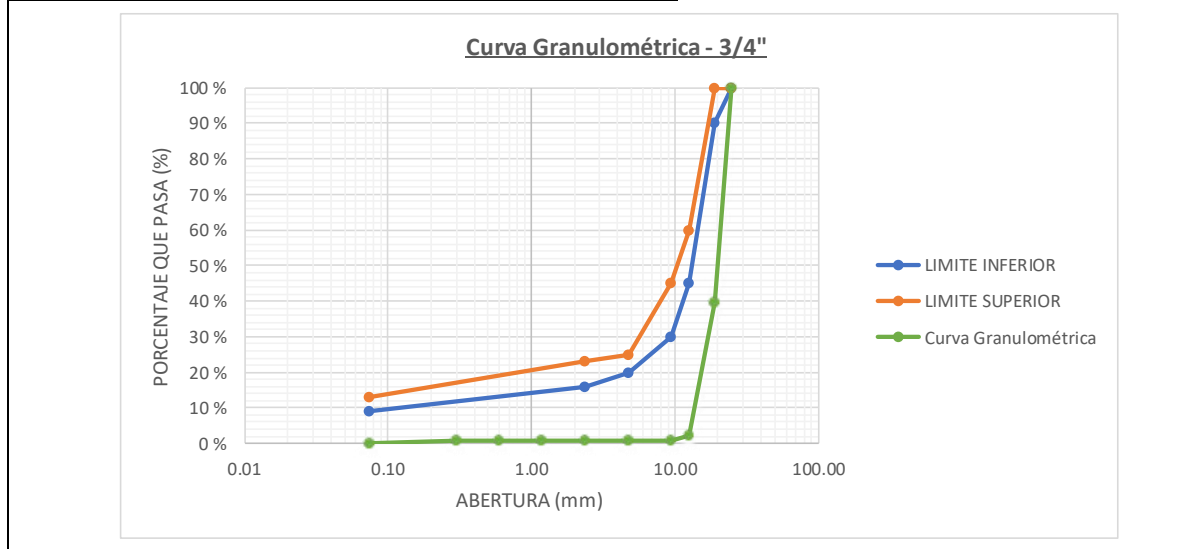
$$\text{Para A. G. de } 3/4", \% \text{ Que pasa en Malla } 3/4" = 100\% - 60.19\% = 39.81\%$$

b) Diagrama o tablas para interpretar el ítem

Tabla 91

Determinación del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de 3/4"

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO - 3/4"								
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
							LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	6020.47	60.19	6020.47	60.19	39.81	90	100
1/2"	12.50	3774.11	37.73	9794.58	97.93	2.07	45	60
3/8"	9.50	115.24	1.15	9909.82	99.08	0.92	30	45
N°4	4.75	24.07	0.24	9933.89	99.32	0.68	20	25
N°8	2.36	4.24	0.04	9938.13	99.36	0.64	16	23
N° 16	1.18	0.00	0.00	9938.13	99.36	0.64		
N° 30	0.60	0.00	0.00	9938.13	99.36	0.64		
N° 50	0.30	0.00	0.00	9938.13	99.36	0.64		
N°200	0.075	42.13	0.42	9980.26	99.78	0.22	9	13
FONDO		21.84	0.22	10002.10	100.00	0.00	0	0
TOTAL RETENIDO		10002.10	100.00	10002.10				



Fuente: Elaboración Propia



Tabla 92

Determinación del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de 1/2"

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO - 1/2"								
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
							LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.50	6030.16	50.58	6030.16	50.58	49.42	45	60
3/8"	9.50	4783.38	40.12	10813.54	90.71	9.29	30	45
N°4	4.75	545.93	4.58	11359.47	95.29	4.71	20	25
N°8	2.36	178.97	1.50	11538.44	96.79	3.21	16	23
N° 16	1.18	145.32	1.22	11683.76	98.01	1.99		
N° 30	0.60	105.20	0.88	11788.96	98.89	1.11		
N° 50	0.30	49.48	0.42	11838.44	99.30	0.70		
N°200	0.075	19.87	0.17	11858.31	99.47	0.53	9	13
FONDO		62.99	0.53	11921.30	100.00	0.00	0	0
TOTAL RETENIDO		11921.30	100.00	11921.30				

Curva Granulométrica - 1/2"

El gráfico muestra el porcentaje que pasa (%) en función de la abertura (mm) para el agregado grueso de 1/2". El eje horizontal (ABERTURA) es una escala logarítmica que va de 0.01 mm a 100.00 mm. El eje vertical (PORCENTAJE QUE PASA) va de 0% a 100%. Se muestran tres líneas: una línea azul para el límite inferior, una línea naranja para el límite superior y una línea verde para la curva granulométrica real. La curva real comienza en 0% para aberturas de 0.075 mm a 1.18 mm, luego sube gradualmente hasta aproximadamente 10% a 12.5 mm, y finalmente se eleva bruscamente para alcanzar el 100% a 25 mm.

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 93

Determinación del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Arena Triturada

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA								
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
							LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	45	60
3/8"	9.50	31.20	0.39	31.20	0.39	99.61	30	45
N°4	4.75	2209.00	27.27	2240.20	27.66	72.34	20	25
N°8	2.36	1617.00	19.96	3857.20	47.62	52.38	16	23
N° 16	1.18	1627.00	20.09	5484.20	67.71	32.29		
N° 30	0.60	1215.00	15.00	6699.20	82.71	17.29		
N° 50	0.30	719.40	8.88	7418.60	91.59	8.41		
N°200	0.075	461.40	5.70	7880.00	97.28	2.72	9	13
FONDO		220.00	2.72	8100.00	100.00	0.00	0	0
TOTAL RETENIDO		8100.00	100.00	8100.00				

Curva Granulométrica - Arena Triturada

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 94

Determinación del Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Arena Río

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO - ARENA DE RÍO								
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
							LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	45	60
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	30	45
N°4	4.75	9.00	0.90	9.00	0.90	99.10	20	25
N°8	2.36	11.00	1.10	20.00	2.00	98.00	16	23
N° 16	1.18	17.00	1.70	37.00	3.70	96.30		
N° 30	0.60	112.00	11.20	149.00	14.90	85.10		
N° 50	0.30	441.00	44.10	590.00	59.00	41.00		
N°200	0.075	309.00	30.90	899.00	89.90	10.10	9	13
FONDO		101.00	10.10	1000.00	100.00	0.00	0	0
TOTAL RETENIDO		1000.00	100.00	1000.00				

Curva Granulométrica - Arena de Río

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 95

Determinación del Ensayo de Análisis Granulométrico del Filler

GRANULOMETRÍA FILLER								
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
							LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	45	60
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	30	45
N°4	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	20	25
N°8	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	16	23
N° 16	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
N° 30	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
N° 50	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
N°200	0.075	8.61	1.72	8.61	1.72	98.28	9	13
FONDO		491.49	98.28	500.10	100.00	0.00	0	0
TOTAL RETENIDO		500.10	100.00	500.10				

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

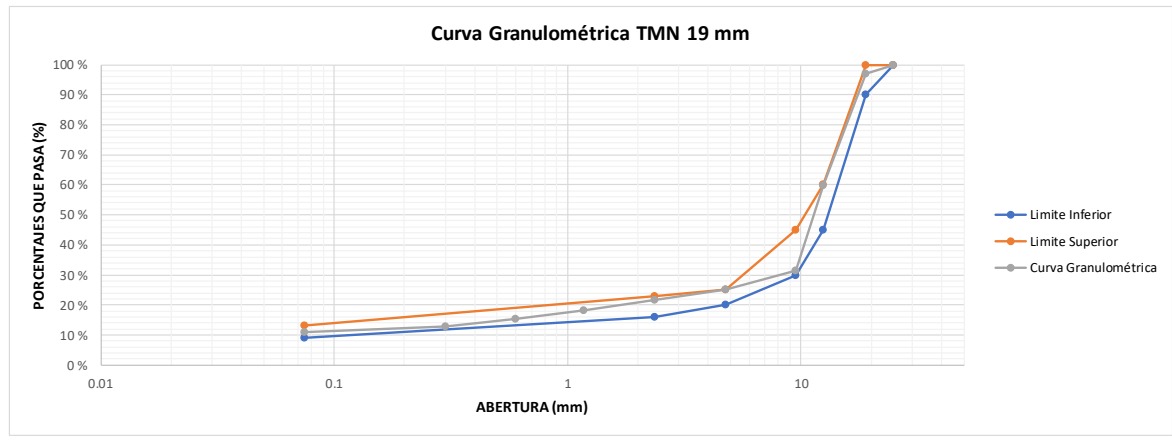
Las diferentes distribuciones granulométricas del agregado grueso ($\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ "), agregado fino (Arena Triturada y Arena de Rio) y filler que se presenta no cumplen con los parámetros de granulometría dado para un TMN de $\frac{3}{4}$ " específico para el diseño de una mezcla S.M.A. por ende se realiza la combinación granulométrica de los áridos.



Tabla 96

Combinación Granulométrica de los Agregados

MATERIAL N° 1: Piedra Chancada de 3/4" de Vicho N° 2: Piedra Chancada de 1/2" de Vicho N° 3: Arena de Rio de Cunyac N° 4: Arena Triturada de Vicho N° 5: Cemento Portland Tipo IP-Yura																						
GRANULOMETRÍA (A. G. GRUESO, A. G. FINO Y FILLER)																						
COMBINACIÓN: 75% Piedra (7% 3/4" y 93% 1/2") + 15% Arena Gruesa + 10% Filler																						
		<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>MUESTRA N°1 (AG 3/4"):</td> <td>5.00%</td> <td rowspan="2">75.00%</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA N°2 (AG 1/2"):</td> <td>70.00%</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA N°3 (AF ARENA DE RIO):</td> <td>3.00%</td> <td rowspan="3">15.00%</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA N°4 (AF ARENA TRITURADA):</td> <td>12.00%</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA N°5 (FILLER):</td> <td>10.00%</td> </tr> </table>					MUESTRA N°1 (AG 3/4"):	5.00%	75.00%	MUESTRA N°2 (AG 1/2"):	70.00%	MUESTRA N°3 (AF ARENA DE RIO):	3.00%	15.00%	MUESTRA N°4 (AF ARENA TRITURADA):	12.00%	MUESTRA N°5 (FILLER):	10.00%				
MUESTRA N°1 (AG 3/4"):	5.00%	75.00%																				
MUESTRA N°2 (AG 1/2"):	70.00%																					
MUESTRA N°3 (AF ARENA DE RIO):	3.00%	15.00%																				
MUESTRA N°4 (AF ARENA TRITURADA):	12.00%																					
MUESTRA N°5 (FILLER):	10.00%																					
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	N° 1 % QUE PASA	N° 2 % QUE PASA	N° 3 % QUE PASA	N° 4 % QUE PASA	N° 5 % QUE PASA	% QUE PASA COMBINACIÓN DE AGREGADOS	% RETENIDO ACUMULADO	19 mm TMN													
									LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR												
1"	25	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	0.00	100	100												
3/4"	19	39.81	100.00	100.00	100.00	100.00	97.0	3.01	90	100												
1/2"	12.5	2.07	49.42	100.00	100.00	100.00	59.7	37.29	45	60												
3/8"	9.5	0.92	9.29	100.00	99.61	100.00	31.5	28.19	30	45												
N°4	4.75	0.68	4.71	99.10	72.34	100.00	25.0	6.52	20	25												
N°8	2.36	0.64	3.21	98.00	52.38	100.00	21.5	3.48	16	23												
N°16	1.18	0.64	1.99	96.30	32.29	100.00	18.2	3.31														
N°30	0.6	0.64	1.11	85.10	17.29	100.00	15.4	2.75														
N°50	0.3	0.64	0.70	41.00	8.41	100.00	12.8	2.68														
N°200	0.075	0.22	0.53	10.10	2.72	98.28	10.8	1.92	9	13												
FONDO		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	10.84	0	0												



Fuente: Elaboración Propia

d) Análisis de la prueba

Las proporciones pasantes de la combinación granulométrica (agregado grueso de 3/4" y 1/2", agregado fino y filler) con contenido de 75% de Agregado Grueso (7% de piedra chancada de 3/4", 93% de piedra chancada de 1/2"), con contenido de 15% de Agregado Fino (20% de arena de rio, 80% de arena triturada) y 10% de Filler, obedecen los requerimientos mínimos de granulometría para un TMN de 3/4" específico para el diseño de una mezcla S.M.A.

3.6.1.2. Ensayo de abrasión los ángeles.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\%Abrasión = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}}$$



$$\% \text{Abrasión para A. G.} = \frac{5001.00 - 4012.00}{5001.00} = 19.78\%$$

b) Diagrama o tablas para interpretar el ítem

Tabla 97

Determinación de la Abrasión Los Ángeles

ABRASIÓN LOS ÁNGELES							
QUE PASA		RETENIDO SOBRE		GRADACIÓN			
mm	pulg.	mm	pulg.	A	B	C	D
37.5	1 1/2"	25	1"	1250.00 gr			
25	1"	19	3/4"	1250.00 gr			
19	3/4"	12.5	1/2"	1250.00 gr	2500.00 gr		
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250.00 gr	2500.00 gr		
9.5	3/8"	6.3	1/4"			2500.00 gr	
6.3	1/4"	4.75	Nº4			2500.00 gr	
4.75	Nº4	2.36	Nº8				5000.00 gr
PESO TOTAL				5000.00 gr	5000.00 gr	5000.00 gr	5000.00 gr
Nº de esferas				12	11	8	6
Nº de revoluciones				500	500	5	500
Tiempo de Rotación, mim				15	15	15	15
Peso inicial = Peso total de la muestra					5001.00 gr		
Peso final = Peso material desgastado					4012.00 gr		
% ABRASIÓN					19.78%		

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de prueba

Según la prueba realizada de la máquina de Los Ángeles, el % de abrasión del agregado grueso de la cantera de Vicho obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado grueso del manual EG-2013.

3.6.1.3. Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados gruesos.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\% \text{Que Pasa} = \frac{\text{Peso Inicial}}{\text{Peso Total}} * 100$$

$$\% \text{Retenido Part. Alargadas (Pasa 3/4" y Ret. 1/2")} \text{ del A. G. 3/4"} = \frac{163.46}{1500.00} * 100 = 10.90\%$$

$$\% \text{Part. Chatas o Alargadas} = \frac{\sum(\% \text{ retenido en cada fracción} * \text{Peso de cada fracción})}{\sum \text{Peso de cada fracción}}$$

$$\% \text{ Part. Chatas} = \frac{(10.06 * 3000) + (11.08 * 1500)}{3000 + 1500} = 10.40\%$$

$$\% \text{ Part. Alargadas} = \frac{(0 * 3000) + (10.90 * 1500)}{3000 + 1500} = 3.63\%$$

$$\% \text{Part. Chatas y Alargadas} = \% \text{Part. Chatas} + \% \text{Part. Alargadas}$$

$$\% \text{ Part. Chatas y Alargadas para A. G. 3/4"} = 10.40\% + 3.63\% = 14.03\%$$



b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 98

Determinación de Partículas Chatas y Alargadas en Agregado Grueso de 3/4"

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS - 3/4"												
MATERIAL		AGREGADO GRUESO			PARTICULAS CHATAS		PARTICULAS ALARGADAS		PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS		PARTICULAS NI CHATAS, NI ALARGADAS	
TAMIZ	Abertura	PESO (A)	PESO (C)	PASA	PESO (E)	(%)	PESO (F)	(%)	PESO (G)	(%)	PESO (H)	(%)
(pulg)	(mm)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
1"	25.40			100.00							0.00	
3/4"	19.05	3000.00	66.67	33.33	301.77	10.06	0.00	0.00	0.00	0.00	2698.23	89.94
1/2"	12.70	1500.00	33.33	0.00	166.24	11.08	163.46	10.90	142.80	9.52	1027.50	68.50
3/8"	8.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso Total de la Muestra		4500.00										
Peso de la muestra de Ensayo (D) (Retenido 1/2")		4500.00										
RESULTADOS (PROMEDIO PONDERADO)												
PARTICULAS CHATAS											10.40 %	
PARTICULAS ALARGADAS											3.63 %	
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS											14.03 %	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 99

Determinación de Partículas Chatas y Alargadas en Agregado Grueso de 1/2"

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS - 1/2"												
MATERIAL		AGREGADO GRUESO			PARTICULAS CHATAS		PARTICULAS ALARGADAS		PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS		PARTICULAS NI CHATAS, NI ALARGADAS	
TAMIZ	Abertura	PESO (A)	PESO (C)	PASA	PESO (E)	(%)	PESO (F)	(%)	PESO (G)	(%)	PESO (H)	(%)
(pulg)	(mm)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
1"	25.40			100.00							0.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	1500.00	75.00	25.00	102.82	6.85	106.99	7.13	155.00	10.33	1135.19	75.68
3/8"	8.75	500.00	25.00	0.00	44.34	8.87	29.82	5.96	75.90	15.18	349.94	69.99
Peso Total de la Muestra		2000.00										
Peso de la muestra de Ensayo (D) (Retenido 3/8")		2000.00										
RESULTADOS (PROMEDIO PONDERADO)												
PARTICULAS CHATAS											7.36 %	
PARTICULAS ALARGADAS											6.84 %	
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS											14.20 %	

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de partículas chatas y alargadas, los % obtenidos en el agregado grueso de 3/4" y 1/2" de la cantera de Vicho obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado grueso del manual EG-2013.

3.6.1.4. Ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas del agregado grueso.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\%Caras Fracturadas = \frac{\text{Peso material con caras fracturadas}}{\text{Peso de muestra}} * 100$$



$$\% \text{ Caras Fracturadas (con una o mas caras fracturadas para A. G. 3/4")} = \frac{3186.48}{3250.00} * 100$$

$$= 98.05\%$$

$$\% \text{ Retención Gradación Original} = \frac{\text{Peso de muestra por tamiz}}{\text{Peso de muestra total}} * 100$$

$$\% \text{ Ret. Gradación Original (con una o mas caras fracturadas A. G. 3/4")} = \frac{3250.00}{5000.00} * 100$$

$$= 65.00\%$$

$$\text{Promedio de Caras Fracturadas} = \% \text{ Caras Fracturadas} * \% \text{ Retenido Gradación Original}$$

$$\text{Prom. de Caras Fracturadas con una o mas caras fracturadas A. G. 3/4")} = 98.05\% * 65.00\% = 63.73\%$$

b) Diagrama o tablas para interpretar el ítem

Tabla 100

Determinación de Caras Fracturadas del Agregado Grueso de 3/4"

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS - 3/4"						
CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C=(B/A)*100	D=(A/TOTAL"A")	E =C*D
TAMIZ		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (gr)	PARTICULAS FRACTURADA S (gr)	CARAS FRACTURADA S (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
1"	3/4"	3250.00	3186.48	98.05	65.00	63.73
3/4"	1/2"	1750.00	1725.34	98.59	35.00	34.51
1/2"	3/8"					
TOTAL		5000.00	4911.82	196.64	100.00	98.24
PARTICULAS CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS (%)					98.24	
CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C=(B/A)*100	D=(A/TOTAL"A")	E =C*D
TAMIZ		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (gr)	PARTICULAS FRACTURADA S (gr)	CARAS FRACTURADA S (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
1"	3/4"	3250.00	2867.40	88.23	65.00	57.35
3/4"	1/2"	1750.00	1642.22	93.84	35.00	32.84
1/2"	3/8"					
TOTAL		5000.00	4509.62	182.07	100.00	90.19
PARTICULAS CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%)					90.19	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 101

Determinación de Caras Fracturadas del Agregado Grueso de 1/2"

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS - 1/2"						
CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C=(B/A)*100	D=(A/TOTAL"A")	E =C*D
TAMIZ		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (gr)	PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500.00	489.81	97.96	71.43	69.97
1/2"	3/8"	200.00	197.07	98.54	28.57	28.15
TOTAL		700.00	686.88	196.50	100.00	98.13
PARTICULAS CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS (%)					98.13	
CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C=(B/A)*100	D=(A/TOTAL"A")	E =C*D
TAMIZ		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (gr)	PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500.00	481.90	96.38	71.43	68.84
1/2"	3/8"	200.00	188.12	94.06	28.57	26.87
TOTAL		700.00	670.02	190.44	100.00	95.72
PARTICULAS CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%)					95.72	

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Caras Fracturadas, el % de una o más caras fracturadas y así también para el % de dos o más caras fracturadas, para ambos agregados (3/4" y 1/2") de la cantera de Vicho obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado grueso del manual EG-2013.

3.6.1.5. Ensayo de durabilidad del agregado grueso al sulfato de magnesio.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\text{Perida de peso (gr)} = \text{Peso inicial empleado (gr)} - \text{Peso final (gr)}$$

$$\text{Perida de peso (Pasa 3/4" Ret. 3/8")} = 1002.20 - 994.37 = 7.83$$

$$\text{Perdida de peso (\%)} = \frac{\text{Perdida de peso (gr)}}{\text{Peso inicial empleado (gr)}} * 100$$

$$\text{Perdida de peso (Pasa 3/4" Ret. 3/8")} = \frac{7.83}{1002.20} * 100 = 0.78\%$$

$$\text{Gradación Original (\%)} = \frac{\text{Peso inicial empleado (gr)}}{\text{Total de peso (gr)}} * 100$$



$$\text{Gradación Original (Pasa 3/4" Ret. 3/8")} = \frac{1002.2}{1305.1} * 100 = 76.79\%$$

$$\text{Perdidas Corregidas (\%)} = \frac{\text{Pérdida de peso (\%)} * \text{Gradación Original (\%)}}{100}$$

$$\text{Perdidas Corregidas (Pasa 3/4" Ret. 3/8")} = \frac{0.78 * 76.79}{100} = 0.60\%$$

b) Diagrama o tablas para interpretar el ítem

Tabla 102

Determinación de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) del Agregado Grueso

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS GRUESOS									
Tamices Utilizados: 3/4"; 3/8"; N°4									
TAMIZ				1	2	3=(1-2)	4=(3/1)*100	5	6=(4*5)/100
PASA	RETIENE	PESO RETENIDO (gr)	BOWLS N°	PESO INICIAL EMPLEADO (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDAS PESO		GRADACIÓN ORIGINAL %	PÉRDIDAS CORREGIDAS %
						gr	%		
3/4"	3/8"	1000 ± 10	AG-1	1002.2	994.37	7.83	0.78	76.79	0.60
3/8"	N°4	300 ± 5	AG-2	302.9	288.49	14.41	4.76	23.21	1.10
				1305.1	PERDIDA TOTAL				1.70
% DE DURABILIDAD				1.70					

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Durabilidad al Sulfato de Magnesio, el % de durabilidad del agregado grueso de la cantera de Vicho obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado grueso del manual EG-2013.

3.6.1.6. Ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

A = Peso en el aire del agregado seco al horno

B = Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco

C = Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

$$G_{sa} (\text{A. G. 3/4"}) = \frac{3011.0}{3011.0 - 1850.0} = 2.59 \text{ gr/cm}^3$$

$$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$$

$$G_{sssb} (\text{A. G. 3/4"}) = \frac{3014.2}{3014.2 - 1850.0} = 2.59 \text{ gr/cm}^3$$



$$Gsb = \frac{A}{B - C}$$

$$Gsb \text{ (A.G. 3/4"')} = \frac{3011.0}{3014.2 - 1850.0} = 2.59 \text{ gr/cm}^3$$

$$Abs = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$Abs \text{ (A.G. 3/4"')} = \frac{3014.2 - 3011.0}{3011.0} * 100 = 0.11\%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 103

Determinación del Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso de 3/4"

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO - 3/4"			
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	RESULTADO
A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	3011.0
B	Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco	gr	3014.2
C	Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua	gr	1850.0
Pea=Gsa	Pe seco aparente (A/(A-C))	gr/cm ³	2.59
Pesss=Gsssb	Pe de masa saturada con superficie seca (B/(B-C))	gr/cm ³	2.59
Pem=Gsb	Pe seco Bulk (A/(B-C))	gr/cm ³	2.59
Ab	Absorción ((B-A)*100/A)	%	0.11 %

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 104

Determinación del Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso de 1/2"

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO - 1/2"			
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	RESULTADO
A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	2824
B	Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco	gr	2829
C	Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua	gr	1737
Pea=Gsa	Pe seco aparente (A/(A-C))	gr/cm ³	2.60
Pesss=Gsssb	Pe de masa saturada con superficie seca (B/(B-C))	gr/cm ³	2.59
Pem=Gsb	Pe seco Bulk (A/(B-C))	gr/cm ³	2.59
Ab	Absorción ((B-A)*100/A)	%	0.18 %

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 105

Determinación del Peso Específico y Absorción de GCR

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO - GCR			
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	RESULTADO
A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	2010.4
B	Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco	gr	2012.5
C	Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua	gr	306.9
Pea=Gsa	Pe seco aparente (A/(A-C))	gr/cm ³	1.18
Pesss=Gsssb	Pe de masa saturada con superficie seca (B/(B-C))	gr/cm ³	1.18
Pem=Gsb	Pe seco Bulk (A/(B-C))	gr/cm ³	1.18
Ab	Absorción ((B-A)*100/A)	%	0.10 %

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Peso Específico y Absorción, el % de absorción del agregado grueso (3/4" y 1/2") de la cantera de Vicho obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado grueso del manual EG-2013.



3.6.1.7. *Ensayo de límites de consistencia.*

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\text{Peso de la muestra seca (Pms)} = (\text{Peso Tara} + \text{Muestra seca}) - (\text{Peso tara})$$

$$\text{Peso de la muestra seca (Pms)} = 29.64 - 17.22 = 12.42 \text{ gr}$$

$$\text{Peso del agua (Pa)} = (\text{Peso Tara} + \text{Muestra hum.}) - (\text{Peso Tara} + \text{Muestra Seca})$$

$$\text{Peso del agua (Pa)} = 32.45 - 29.64 = 2.81 \text{ gr}$$

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso del Agua (Pa)}}{\text{Peso de la muestra seca (Pms)}}$$

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \frac{2.81}{12.42} = 22.62\%$$

$$\text{Limite Líquido (LL)} = \text{N.P.}$$

$$\text{Limite Plástico (LP)} = \text{N.P.}$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 106

Determinación del Índice de Plasticidad

LÍMITES DE CONSISTENCIA PARA FINOS - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%				
Tara Número	LÍMITE LIQUIDO (gr)			LÍMITE PLASTICO
	1	2	3	
Peso Tara + Muestra Húmeda (A) gr	32.45	31.97	29.83	-
Peso Tara + Muestra Seca (B) gr	29.64	29.24	27.58	-
Peso de la Tara (C) gr	17.22	17.47	17.31	-
Peso de la Muestra Seca (Pms=B-C) gr	12.42	11.77	10.27	-
Peso del Agua (Pa=A-B) gr	2.81	2.73	2.25	-
Contenido de Humedad (Pa/Pms)	22.62%	23.19%	21.91%	-
Numero de Golpes	18	22	23	-

Para un Punto	
1	2
$LL = W^n \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$	O $LL = kW^n$
Numero de golpes (N):	21
Contenido de humedad (W^n):	22.58%
Factor K:	N.P.
1	2
LL= N.P.	LL= N.P.
Numero de golpes (N)	Contenido de humedad (%)
21	22.58
25	-

N (Numero de golpes)	K (Factor para limite liquido)
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,022

LÍMITE LIQUIDO

Fuente: Elaboración Propia



c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Límites de Consistencia, no presenta ningún límite por ende tampoco existe una índice plasticidad en el agregado fino (arena triturada 80% y arena de río 20%) de la cantera de Vicho y Cunyac, obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado fino del manual EG-2013.

3.6.1.8. Ensayo de azul de metileno.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

C = Concentración de la solución de Azul de Metileno (mg/ml)

V = Solución de Azul de Metileno requerida en la titulación (ml)

W = Peso de material seco utilizado en la prueba (gr)

$$VA = \frac{C * V}{W}$$

$$VA = \frac{5.00 * 13.00}{10.00} = 6.50 \text{ mg/gr}$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 107

Determinación del Azul de Metileno

AZUL DE METILENO PARA FINOS - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%		
DATOS DEL ENSAYO		
Concentración de la solución de Azul de Metileno (mg/ml)	C:	5.00
Solución de Azul de Metileno requerida en la titulación (ml)	V:	13.00
Peso de material seco utilizado en la prueba (gr)	W:	10.00
VALOR DE AZUL DE METILENO (VA)		
$VA = \frac{C * V}{W}$	6.5	mg/gr

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Azul de Metileno, el resultado del agregado fino (arena triturada 80% y arena de río 20%) de la cantera de Vicho y Cunyac obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado fino del manual EG-2013.

3.6.1.9. Ensayo de equivalente de arena.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\% \text{ Equivalente de Arena} = \frac{\text{Lectura de arena (pulg.)}}{\text{Lectura de finos (pulg.)}} * 100$$



$$\% \text{ Equivalente de Arena} = \frac{4.10}{4.30} * 100 = 95.35 \%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 108

Determinación del Equivalente de Arena

EQUIVALENTE DE ARENA - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%			
N° de Ensayo	1	2	3
Hora de entrada	05.25	05.27	05.29
Hora de salida	05.35	05.37	05.39
Hora de entrada	05.37	05.39	05.41
Hora de salida	05.57	05.59	06.01
Lectura finos (pulg.)	4.30	4.40	4.40
Lectura de arena (pulg.)	4.10	4.20	4.20
% de equivalente de arena	95.35	95.45	95.45
Equivalente de arena promedio	95.42		

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Equivalente de Arena, el % del agregado fino (arena triturada 80% y arena de rio 20%) de la cantera de Vicho y Cunyac obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado fino del manual EG-2013.

3.6.1.10. Ensayo de angularidad de finos.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\text{Peso de la Arena}(W) = \text{Peso arena} + \text{cilindro}(PW) - \text{Peso del Cilindro}(P)$$

$$\text{Peso de la Arena}(W) = 266.25 - 42.5 = 223.75\text{gr}$$

$$\text{Angularidad (A\%)} = \frac{\text{Volumen}(V) - \frac{\text{Peso de arena}(W)}{\text{Gravedad Específica bruta (Gsb)}}}{\text{Volumen}(V)} * 100$$

$$\text{Angularidad (A\%)} = \frac{157.71 - \frac{223.75}{2.48}}{157.71} * 100 = 42.72\%$$



b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 109

Determinación de la Angularidad de Finos

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%		
Tamices Utilizados: N°8 Y N°200		
CARACTERISTICAS DEL CILINDRO		PESOS DEL CILINDRO Y MUESTRA
H	Dm	ARENA + CILINDRO (PW) (gr)
8 cm	5.01 cm	266.25 gr
VOLUMEN (V) cm ³	PESO (P) gr	ARENA (W) gr
157.71 cm ³	42.5 gr	223.75 gr
GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA		
Gsb (gr/cm ³)		2.48
ANGULARIDAD O % DE VACÍOS NO COMPACTADOS (A%)		
$A\% = \frac{V - \frac{W}{Gsb}}{V} * 100 =$		42.72%

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Angularidad, el % de angularidad del agregado fino (arena triturada 80% y arena de rio 20%) de la cantera de Vicho y Cunyac obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado fino del manual EG-2013.

3.6.1.11. Ensayo de durabilidad del agregado fino al sulfato de magnesio.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\text{Pérdida de peso (gr)} = \text{Peso Inicial empleado (gr)} - \text{Peso Final (gr)}$$

$$\text{Pérdida de peso (Pasa n°4" Ret. n°8)} = 110 - 109.45 = 0.55 \text{ gr}$$

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso de Peso (gr)}}{\text{Peso Inicial empleado (gr)}} * 100$$

$$\text{Pérdida de peso (Pasa n°4" Ret. n°8)} = \frac{0.55}{110} * 100 = 0.50 \%$$

$$\text{Gradación Original (\%)} = \frac{\text{Peso Inicial empleado (gr)}}{\text{Total de Peso (gr)}} * 100$$

$$\text{Gradación Original (Pasa n°4" Ret. n°8)} = \frac{110}{550} * 100 = 20.00 \%$$

$$\text{Pérdidas Corregidas (\%)} = \frac{\text{Pérdida de peso (\%)} * \text{Gradación Original (\%)}}{100}$$

$$\text{Pérdidas Corregidas (Pasa n°4" Ret. n°8)} = \frac{0.50 * 20.0}{100} = 0.10\%$$



b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 110

Determinación de la Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) del Agregado Fino

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS FINOS - ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%									
Tamices Utilizados: 3/8", N°4, N°8, N°16, N° 30, N° 50, N°100									
TAMIZ				1	2	3=(1-2)	4=(3/1)*100	5	6=(4*5)/100
PASA	RETIENE	PESO RETENIDO (gr)	BOWLS N°	PESO INICIAL EMPLEADO (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDAS PESO		GRADACIÓN ORIGINAL %	PÉRDIDAS CORREGIDAS %
						gr	%		
3/8"	N° 4	100	AG-1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N° 4	N° 8	100	AG-2	110	109.45	0.55	0.50	20.00	0.10
N° 8	N° 16	100	AG-3	110	108.35	1.65	1.50	20.00	0.30
N° 16	N° 30	100	AG-4	110	106.70	3.30	3.00	20.00	0.60
N° 30	N° 50	100	AG-5	110	104.50	5.50	5.00	20.00	1.00
N° 50	N° 100	100	AG-6	110	102.85	7.15	6.50	20.00	1.30
				550	PERDIDA TOTAL			3.30	
				% DE DURABILIDAD		3.30			

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Durabilidad al Sulfato de Magnesio, el % de durabilidad del agregado fino (arena triturada 80% y arena de rio 20%) de la cantera de Vicho y Cunyac obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado fino del manual EG-2013.

3.6.1.12. Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

Peso en el aire del agregado seco al horno (gr)

$$= (\text{Peso del agregado seco al horno} + \text{Recipiente}) - (\text{Peso del Recipiente})$$

$$\text{Peso en el aire del agregado seco al horno} = 549 - 66 = 483 \text{ gr}$$

A = Peso en el aire del agregado seco al horno

B = Peso del picnómetro + agua

C = Peso del picnómetro + agregado + agua hasta la marca

D = Peso del material saturado superficialmente seco

$$Gsa = \frac{A}{B + A - C}$$

$$Gsa = \frac{483}{661 + 483 - 966} = 2.71 \text{ gr/cm}^3$$

$$Gsssb = \frac{D}{B + D - C}$$



$$G_{ssb} = \frac{500}{661 + 500 - 966} = 2.56 \text{ gr/cm}^3$$

$$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$G_{sb} = \frac{483}{661 + 500 - 966} = 2.48 \text{ gr/cm}^3$$

$$Abs = \frac{D - A}{A} * 100$$

$$Abs = \frac{500 - 483}{483} * 100 = 3.52 \%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 111

Determinación de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA 80% + ARENA DE RIO 20%			
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	RESULTADOS
	Peso del agregado seco al horno + Recipiente	gr	549
	Peso del Recipiente	gr	66
A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	483
B	Peso del Picnómetro + Agua	gr	661
C	Peso del Picnómetro + Agregado + Agua hasta la marca	gr	966
D	Peso del material saturado superficialmente seco	gr	500
Pea=Gsa	Pe seco aparente (A/(B+A-C))	gr/cm ³	2.71
Pesss=Gsssb	Pe de masa saturada con superficie seca (D/(B+D-C))	gr/cm ³	2.56
Pem=Gsb	Pe seco Bulk (A/(B+D-C))	gr/cm ³	2.48
Ab	Absorción ((D-A)*100/A)	%	3.52

Fuente: Elaboración Propia



c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Peso Específico y Absorción, el % de absorción del agregado fino (arena triturada 80% y arena de río 20%) de la cantera de Vicho y Cunyac no obedece las especificaciones de calidad requeridas para agregado fino del manual EG-2013.

3.6.1.13. Ensayo de adherencia.

a) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 112

Determinación de la Adherencia

ADHERENCIA - MTC E 517	
AGREGADO GRUESO - VICHO	
ASFALTO: PEN 85/100	
ADHERENCIA:	+95%

Fuente: Elaboración Propia

b) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Adherencia, el resultado del agregado grueso de la cantera de Vicho obedece con las especificaciones de calidad requeridas para agregado grueso del manual EG-2013.

3.6.1.14. Ensayo de índice de durabilidad.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

a.1.) Índice de Durabilidad del Agregado grueso

PRIMER CICLO

$$\text{Peso tambor} + \text{muestra inicial} = 1365 + 1072 = 2437\text{gr}$$

$$A = \text{Peso tambor} + \text{muestra inicial}$$

$$B = \text{Peso tambor} + \text{muestra seca despues del ensayo}$$

$$C = \text{Peso tambor}$$

$$D = \text{Peso del material saturado superficialmente seco}$$

SEGUNDO CICLO

$$W_f = \text{Peso tambor} + \text{muestra seca}$$



$$\text{Índice de desleimiento - durabilidad} = SDI(2) = \frac{W_f - C}{B - C} * 100$$

$$SDI(2) = \frac{2388 - 1365}{2431 - 1365} * 100 = 96.0\%$$

a.2.) Índice de Durabilidad del Agregado Fino

PRIMER CICLO

$$\text{Peso tambor} + \text{muestra inicial} = 1365 + 1072 = 2277 \text{ gr}$$

A = Peso tambor + muestra inicial

B = Peso tambor + muestra seca despues del ensayo

C = Peso tambor

D = Peso del material saturado superficialmente seco

SEGUNDO CICLO

W_f = Peso tambor + muestra seca

$$\text{Índice de desleimiento - durabilidad} = SDI(2) = \frac{W_f - C}{B - C} * 100$$

$$SDI(2) = \frac{2262 - 1365}{2275 - 1365} * 100 = 98.6\%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 113

Determinación del Índice de Durabilidad del Agregado Grueso

INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO - MTC E 214	
PIEDRA CHANCADA 1/2" Y 3/4"	
PRIMER CICLO	
Peso Tambor gr. (C)	1365.00
Numero de fragmentos	10.00
Peso Muestra gr.	1072.00
Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)	2437.00
Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)	2431.00
SEGUNDO CICLO	
Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)	2388.00
SDI (2)	96.0%
Agregado:	Alta Durabilidad

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 114

Determinación del Índice de Durabilidad del Agregado Fino

INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO - MTC E 214	
ARENA TRITURADA 80% - ARENA DE RIO 20%	
PRIMER CICLO	
Peso Tambor gr. (C)	1365.00
Numero de fragmentos	10.00
Peso Muestra gr.	912.00
Peso Tambor + Muestra Inicial gr. (A)	2277.00
Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr. (B)	2275.00
SEGUNDO CICLO	
Peso Tambor + Muestra Seca gr. (Wf)	2262.00
SDI (2)	98.6%
Agregado:	Alta Durabilidad

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Índice de Durabilidad, el % de durabilidad del agregado grueso y fino de la cantera de Vicho y Cunyac respectivamente, obedece con las especificaciones de calidad requeridas para agregado grueso y fino del manual EG-2013.

3.6.1.15. Ensayo de sales solubles totales.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

a.1.) Sales solubles para agregado grueso

$$\text{Sales solubles}(\%) = \left(\frac{1}{\frac{C * A}{D * B} - 1} \right) * 100$$

$$\text{Sales solubles}(\%) = \left(\frac{1}{\frac{60 * 500}{55.95 * 500} - 1} \right) * 100 = 0.03\%$$

a.2.) Sales solubles para agregado fino

$$\text{Sales solubles}(\%) = \left(\frac{1}{\frac{C * A}{D * B} - 1} \right) * 100$$

$$\text{Sales solubles}(\%) = \left(\frac{1}{\frac{60 * 100}{50 * 120} - 1} \right) * 100 = 0.04\%$$



b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 115

Determinación de Sales Solubles Totales para Agregado Grueso

SALES SOLUBLES PARA AGREGADO GRUESO			
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
A	Masa inicial	gr	500
B	Aforo de matraz y enrasado con agua destilada	mL	500
C	Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL	mL	60
D	Masa de alicuota cristalizada	gr	55.95
Sales solubles (%)		0.03	
Sales solubles (ppm)		297.97	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 116

Determinación de Sales Solubles Totales para Agregado Fino

SALES SOLUBLES PARA AGREGADO FINO			
SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
A	Masa inicial	gr	100
B	Aforo de matraz y enrasado con agua destilada	mL	120
C	Alicuota de un volumen entre 50 y 100 mL	mL	60
D	Masa de alicuota cristalizada	gr	50
Sales solubles (%)		0.04	
Sales solubles (ppm)		397.17	

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Según la prueba realizada de Sales Solubles Totales, el % de sales del agregado grueso y fino de la cantera de Vicho y Cunyac respectivamente, obedece con las especificaciones de calidad requeridas para agregado grueso y fino del manual EG-2013.

3.6.2. Diseño de mezclas asfálticas S.M.A.

3.6.2.1. Combinación de granulometría de los agregados para diseño.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\% \text{ que pasa Combinación de Ag.} = \sum (\% \text{ que pasa Muestra } N * \% \text{ Incidencia Muestra } N)$$

$$\% \text{ que pasa Combinación de Ag. (7\% } 3/4" \text{ 93\% } 1/2") \text{ (Para Malla } 3/4")$$

$$= 39.81\% * 5\% + 100\% * 70\% + 100\% * 3\% + 100\% * 12\% + 100\% * 10\%$$

$$= 97\%$$

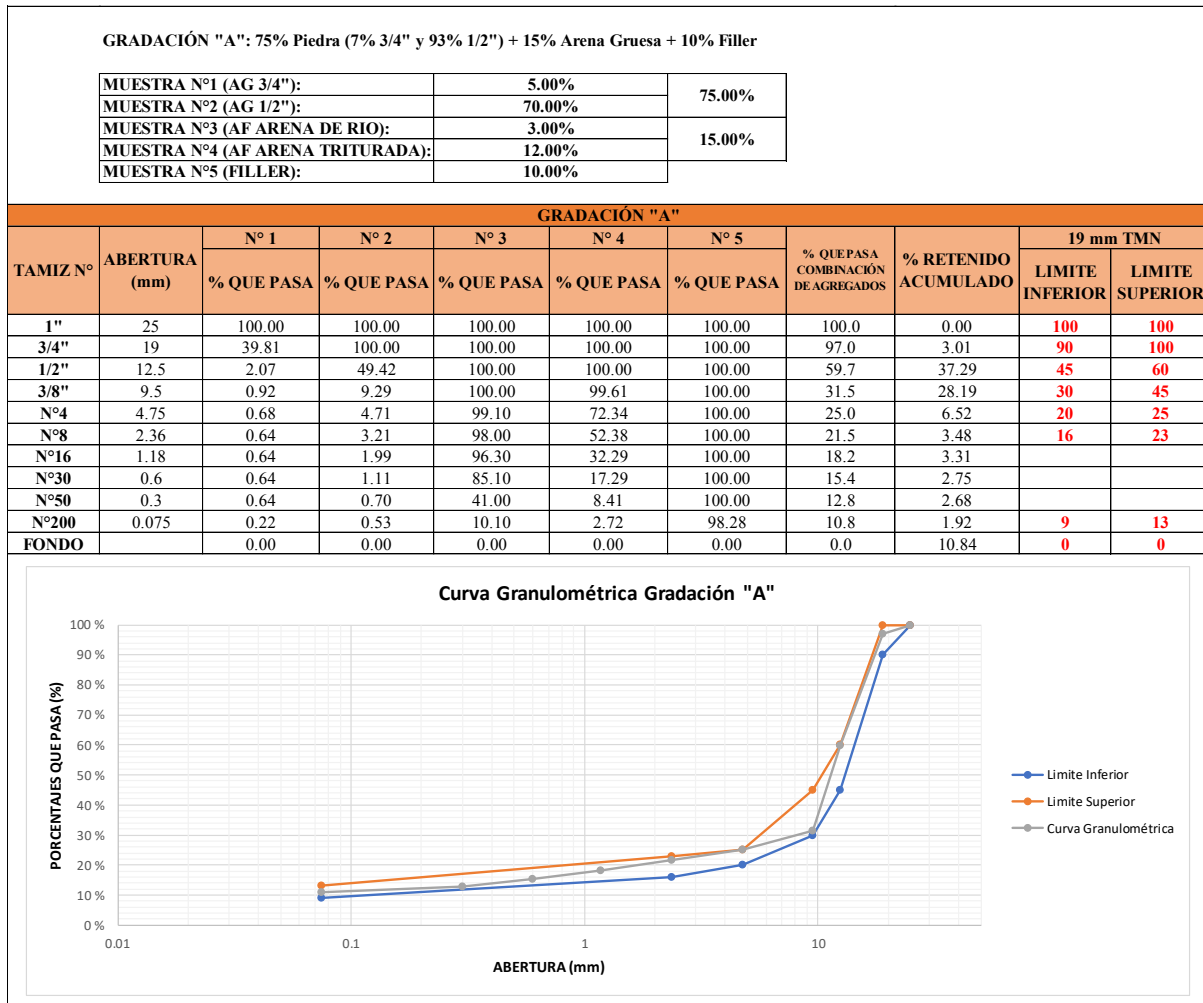


b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

MATERIAL	N° 1: Piedra Chancada de 3/4" de Vicho
	N° 2: Piedra Chancada de 1/2" de Vicho
	N° 3: Arena de Rio de Cunyac
	N° 4: Arena Triturada de Vicho
	N° 5: Cemento Portland Tipo IP-Yura

Tabla 117

Combinación de Agregados con Gradación "A"



Fuente: Elaboración Propia

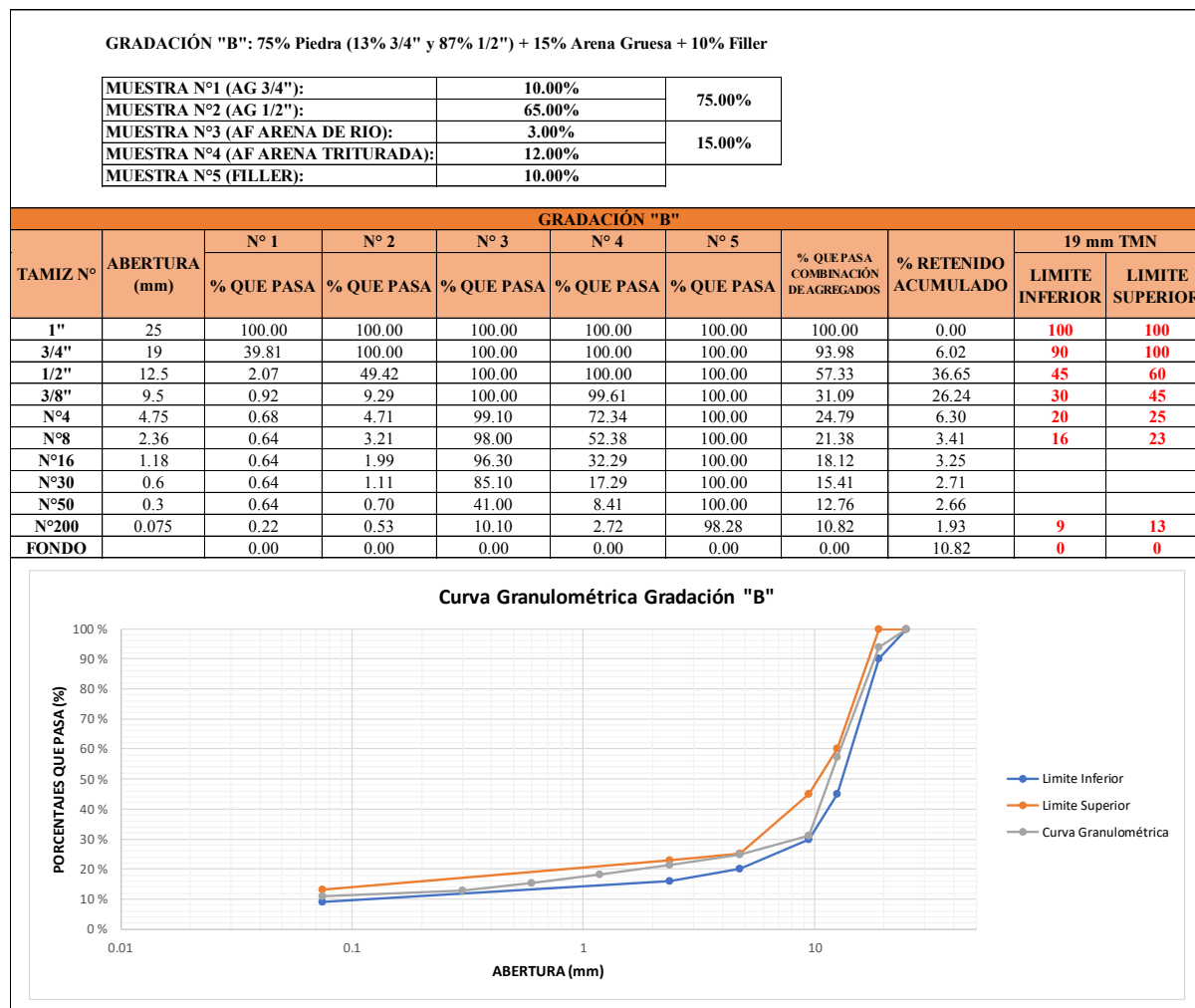
Análisis de la prueba

Las proporciones pasantes de la combinación granulométrica "A" (agregado grueso de 3/4" y 1/2", agregado fino y filler) con contenido de 75% de Agregado Grueso (7% de piedra chancada de 3/4", 93% de piedra chancada de 1/2"), con contenido de 15% de Agregado Fino (20% de arena de rio, 80% de arena triturada) y 10% de Filler, obedecen los requerimientos mínimos de granulometría para un TMN de 3/4" específico para el diseño de una mezcla S.M.A.



Tabla 118

Combinación de Agregados con Gradación "B"



Fuente: Elaboración Propia

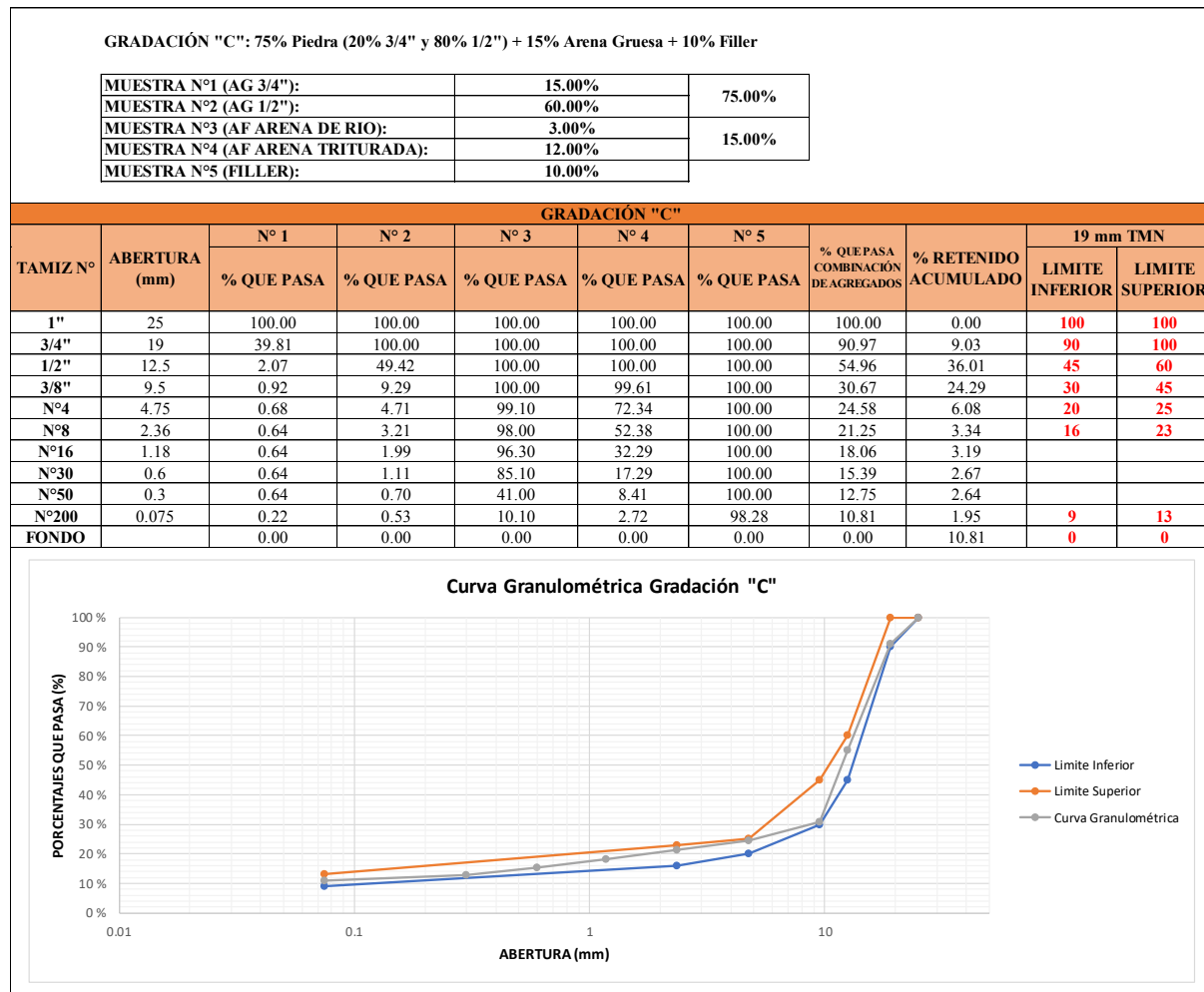
Análisis de la prueba

Las proporciones pasantes de la combinación granulométrica "B" (agregado grueso de 3/4" y 1/2", agregado fino y filler) con contenido de 75% de Agregado Grueso (13% de piedra chancada de 3/4", 87% de piedra chancada de 1/2"), con contenido de 15% de Agregado Fino (20% de arena de rio, 80% de arena triturada) y 10% de Filler, obedecen los requerimientos mínimos de granulometría para un TMN de 3/4" específico para el diseño de una mezcla S.M.A.



Tabla 119

Combinación de Agregados con Gradación "C"



Fuente: Elaboración Propia

Análisis de la prueba

Las proporciones pasantes de la combinación granulométrica "C" (agregado grueso de 3/4" y 1/2", agregado fino y filler) con contenido de 75% de Agregado Grueso (20% de piedra chancada de 3/4", 80% de piedra chancada de 1/2"), con contenido de 15% de Agregado Fino (20% de arena de rio, 80% de arena triturada) y 10% de Filler, obedecen los requerimientos mínimos de granulometría para un TMN de 3/4" específico para el diseño de una mezcla S.M.A.

3.6.2.2. Ensayo de peso unitario de los agregados gruesos.

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\text{Peso Unitario Suelto} = \frac{\text{Peso del agregado grueso sueto (Pas)}}{\text{Volumen del molde (Vm)}}$$

$$P.U.Suelto (\text{Comb. } 7\% \text{ } 3/4" \text{ } 93\% \text{ } 1/2") = \frac{4.237 \text{ Kg}}{0.0032 \text{ m}^3} = 1324.06 \text{ Kg/m}^3$$



$$\text{Peso Unitario Compactado} = \frac{\text{Peso del agregado grueso compactado}(Pac)}{\text{Volumen del molde}(Vm)}$$

$$P.U. \text{ Comp. (Comb. 7\% } 3/4'' \text{ 93\% } 1/2'') = \frac{4.476 \text{ Kg}}{0.0032 \text{ m}^3} = 1398.75 \text{ Kg/m}^3$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 120

Determinación del Peso Unitario de los Agregados Gruesos

PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO					
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (Vm)		3200.29 cm ³	0.0032 m ³		
ITEM	PROPORCIÓN DE AGREGADOS	PESO DE LOS AGREGADOS		CALCULO DE PESOS UNITARIOS	
		PESO SUELTO (Pas)	PESO COMPACTADO (Pac)	P.U. SUELTO (PUs = Pas/Vm)	P.U. COMPACTADO (Puc = Pac/Vm)
A	A.G. 3/4" (7%) - A.G. 1/2" (93%)	4.237	4.476	1324 kg/m ³	1399 kg/m ³
B	A.G. 3/4" (13%) - A.G. 1/2" (87%)	4.286	4.555	1339 kg/m ³	1423 kg/m ³
C	A.G. 3/4" (20%) - A.G. 1/2" (80%)	4.213	4.598	1316 kg/m ³	1437 kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

c) Análisis de la prueba

Los resultados del agregado grueso (3/4" y 1/2") de la cantera de Vicho, para las combinaciones: 7% 3/4", 93% 1/2"; 13% 3/4", 87% 1/2" y 20% 3/4", 80% 1/2", serán empleados en el diseño S.M.A.



3.6.2.3. Elección de la gradación óptima.

Tabla 121

Determinación de los Pesos Unitarios de las Gradaciones y Gravedad Específica Bulk de la Combinación de Agregados – Elección de Combinación Granulométrica Óptima

GRADACIONES					
MUESTRAS	VOLUMEN DE LA PROBETA (m ³)		P.U. SECO COMPACTADO (RODILLADO) (Kg/m ³)		
GRADACIÓN "A"	0.0032		1399		
GRADACIÓN "B"	0.0032		1423		
GRADACIÓN "C"	0.0032		1437		

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS					
Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas, el valor de la gravedad específica promedio se calcula:					
$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$					
Donde:					
G		Gravedad específica promedio			
G ₁ , G ₂ , ..., G _n		Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..., n			
P ₁ , P ₂ , ..., P _n		Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..., n			
PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE AGREGADO GRUESO (Gca)					
MUESTRAS	% DE 3/4"	% DE 1/2"	Gca DE 3/4"	Gca DE 1/2"	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO
GRADACIÓN "A"	7%	93%	2.586	2.586	2.586
GRADACIÓN "B"	13%	87%	2.586	2.586	2.586
GRADACIÓN "C"	20%	80%	2.586	2.586	2.586
PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE DE AGREGADO GRUESO (Gsa)					
MUESTRAS	% DE 3/4"	% DE 1/2"	Gsa DE 3/4"	Gsa DE 1/2"	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO
GRADACIÓN "A"	7%	93%	2.593	2.598	2.598
GRADACIÓN "B"	13%	87%	2.593	2.598	2.597
GRADACIÓN "C"	20%	80%	2.593	2.598	2.597
PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS					
MUESTRAS	Gsb DE 3/4" Y 1/2"	Gsb DE AF	Gsb DE FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO	
%	75%	15%	10%		
GRADACIÓN "A"	2.586	2.477	2.850	2.593	
GRADACIÓN "B"	2.586	2.477	2.850	2.593	
GRADACIÓN "C"	2.586	2.477	2.850	2.593	

Fuente: Elaboración Propia

Gca: Gravedad específica bulk de los agregados gruesos

Gsa: Gravedad específica aparente de los agregados gruesos

G: Gravedad específica de la combinación de agregados

$$G_{ca}, G_{sa}, G = \frac{\sum_1^n (P_n (\text{Porcentajes en pesos de la fracción}))}{\sum_1^n \left(\frac{P_n (\text{Porcentajes en pesos de la fracción})}{G_n (\text{Valores de grav. específica o aparente por fracción})} \right)}$$

$$\text{Grav. Esp. Bulk de A. G. Gradación "A"} (G_{ca}) = \frac{7\% + 93\%}{\frac{7\%}{2.586} + \frac{93\%}{2.586}} = 2.586 \text{ gr/cm}^3$$



$$\text{Grav. Esp. Aparente de A. G. Gradación "A"} (G_{sa}) = \frac{7\% + 93\%}{\frac{7\%}{2.593} + \frac{93\%}{2.598}} = 2.598 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Grav. Esp. de Comb. de Ag. Gradación "A"} (G) = \frac{75\% + 15\% + 10\%}{\frac{75\%}{2.586} + \frac{15\%}{2.477} + \frac{10\%}{2.85}} = 2.593 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 122

Determinación de los Vacíos en el Agregado Grueso en la Condición Seco Rodillado para cada Gradación – Elección de Combinación Granulométrica Óptima

VACÍOS EN EL AGREGADO GRUESO EN LA CONDICIÓN SECO-RODILLADO (VCA drc)				
Para determinar los vacíos en el agregado grueso se utiliza el método "Unit Weight and Voids in Aggregate" normalizado por AASHTO T19. Cuando se calcula a la densidad seco-rodillado de la fracción de agregado grueso, el VCA drc de la fracción se determina usando:				
$VCA_{DRC} = \left(\frac{G_{ca}\gamma_w - \gamma_s}{G_{ca}\gamma_w} \right) 100$				
Donde:				
VCA _{DRC}	vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado			
γ_s	peso unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco-rodillado (kg/m ³)			
γ_w	peso unitario del agua (998kg/m ³)			
G_{ca}	gravedad específica bulk del agregado grueso			
	γ_s	γ_w	G_{ca}	VCA _{DRC}
MUESTRAS	P.U. SECO COMPACTADO (RODILLADO) (Kg/m ³)	P.U. DEL AGUA (Kg/m ³)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL AGREGADO GRUESO	VACÍOS AGREGADO GRUESO SECO COMPACTADO
GRADACIÓN "A"	1399	998	2.586	45.81
GRADACIÓN "B"	1423	998	2.586	44.85
GRADACIÓN "C"	1437	998	2.586	44.33

Fuente: Elaboración Propia

- VCA_{DRC} : Vacíos en el agregado grueso en la condición seco - rodillado
- γ_s : Peso Unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco -
- G_{ca} : Gravedad Especifica Bulk del agregado grueso rodillado (kg/m³)
- γ_w : Peso Unitario del agua (998 kg/m³)

$$VCA_{DRC} = \left(\frac{G_{ca}\gamma_w - \gamma_s}{G_{ca}\gamma_w} \right) 100$$

$$VCA_{DRC}(\text{Para Gradación A}) = \left(\frac{2.586 * 998 - 1399}{2.586 * 998} \right) 100 = 45.81 \%$$



Tabla 123

Determinación de la Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm) – Elección de Combinación Granulométrica Óptima

PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS EN LA FASE DE SELECCIÓN						
TMN =		19 mm				
% DE ASFALTO =		6%				
DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFÁLTICO AL 6%						
DENOMINACIÓN	MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DEL AGREGADO		% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA		
A	AGREGADO GRUESO	75.00		70.50		
B	AGREGADO FINO	15.00		14.10		
C	FILLER	10.00		9.40		
T	CEMENTO ASFÁLTICO	6.00		6.00		
TOTALES		100% + CA al 6%		100		
En ausencia de datos proporcionados por el Método RICE, la gravedad específica puede calcularse con un relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los componentes de la mezcla:						
$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$ <p>Siendo:</p> $A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el agregado grueso}$ $B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el agregado fino}$ $C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el filler}$ <p>Donde:</p> <p>G_{sb} Gravedad específica bulk G_{sa} Gravedad específica aparente</p>						
GRAVEDAD ESPECÍFICA INDIVIDUAL DE LOS AGREGADOS						
DENOMINACIÓN	MATERIAL	GRAV. ESP. BULK		GRAV. ESP. APARENTE		RESULTADO
		Gsb		Gsa		
A	AG (3/4" 7%-1/2" 93%)	2.586		2.598		2.592
	AG (3/4" 13%-1/2" 87%)	2.586		2.597		2.592
	AG (3/4" 20%-1/2" 80%)	2.586		2.597		2.592
B	AGREGADO FINO	2.477		2.713		2.595
C	FILLER	2.850		2.850		2.850
T	ASFALTO	-		1.017		1.017
GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE						
MUESTRAS	% DE ASFALTO	A	B	C	Gsa asfalto	Gmm
		AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	FILLER	Grav. Esp. Apar. Del Cemento Asfáltico	Grav. Esp. Teór. Maxima RICE
GRADACIÓN "A"	6.00	2.592	2.595	2.850	1.017	2.391
GRADACIÓN "B"	6.00	2.592	2.595	2.850	1.017	2.390
GRADACIÓN "C"	6.00	2.592	2.595	2.850	1.017	2.390

Fuente: Elaboración Propia

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado grueso.}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado fino.}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el filler.}$$

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$$



G_{sb} : Gravedad específica bulk

G_{sa} : Gravedad específica aparente

$$G_{mm}(\text{Gradación A}) = \frac{100}{\frac{6.00\%}{1.017} + \frac{70.50\%}{\frac{2.586 + 2.598}{2}} + \frac{14.10\%}{\frac{2.477 + 2.713}{2}} + \frac{9.40\%}{\frac{2.850 + 2.850}{2}}}$$

$$= \frac{100}{\frac{6.00\%}{1.017} + \frac{70.50\%}{2.592} + \frac{14.10\%}{2.595} + \frac{9.40\%}{2.850}} = 2.391 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 124

Determinación de la Gravedad Específica Bulk - Elección de Combinación Granulométrica Óptima

SELECCIÓN DE LA GRADACIÓN DESEADA U ÓPTIMA				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS				
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$ <p>Donde:</p> <p>G_{mb} Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada</p> <p>W_D Peso del espécimen al aire</p> <p>W_{SSD} Peso del espécimen en su condición SSD en el aire</p> <p>W_{sub} Peso del espécimen sumergido</p> </div>				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD Peso al aire (gr)	WSUB Peso sumergido (gr)	WSSD Peso en su condición en el aire (gr)	Gmb Gravedad Específica Bulk del espécimen
GRADACIÓN "A"	1530	1108	1778	2.284
	1542	1112	1785	2.291
	1536	1118	1791	2.282
	PROMEDIO			2.286
GRADACIÓN "B"	1565	1128	1802	2.322
	1571	1135	1811	2.324
	1559	1130	1807	2.303
	PROMEDIO			2.316
GRADACIÓN "C"	1582	1142	1812	2.361
	1589	1151	1817	2.386
	1592	1147	1815	2.383
	PROMEDIO			2.377

Fuente: Elaboración Propia

Gmb: Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada

WD: Peso del espécimen al aire

WSSD: Peso del espécimen en su condición SSD en el aire

Wsub: Peso del espécimen sumergido

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$$

$$\text{Gravedad específica bulk Gradación A}(G_{mb}) = \frac{1530}{1778 - 1108} = 2.284 \text{ gr/cm}^3$$



Tabla 125

Determinación de los Vacíos y Elección de la Combinación Granulométrica Óptima

CÁLCULO DE LOS VACÍOS							
El porcentaje de vacíos de aire (Va), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos de agregado grueso en mezcla se calculan con las siguientes ecuaciones:							
$V_a = 100 \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) ; VCA_{mezcla} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{ca}} P_{CA} \right) \text{ y } VMA = 100 \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} P_s \right)$							
Donde:							
	Ps	porcentaje de agregado en mezcla					
	PCA	porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla					
	Gmm	gravedad específica teórica máxima de la mezcla					
	Gmb	gravedad específica bulk de la mezcla					
	Gsb	gravedad específica bulk de la combinación de agregados					
	Gca	gravedad específica bulk del agregado grueso					
MUESTRAS	Ps	PCA	Gmm	Gmb	Gsb	Gca	
	% de Agregado en mezcla	% en peso de AG en mezcla	Grav. Especif. Teóri. Maxima de la mezcla	Grav. Espec. Bulk de la mezcla	Grav. Esp. Bulk de la Combinación de Agregados	Grav. Esp. Bulk del AG	
GRADACIÓN "A"	94.00	70.50	2.391	2.286	2.593	2.586	
GRADACIÓN "B"	94.00	70.50	2.390	2.316	2.593	2.586	
GRADACIÓN "C"	94.00	70.50	2.390	2.377	2.593	2.586	
MUESTRAS	Va		VCA mezcla		VMA		
	% Vacíos de aire		% Vacíos de Agregado Grueso en mezcla		% Vacíos en Agregado Mineral		
GRADACIÓN "A"	4.385		37.689		17.139		
GRADACIÓN "B"	3.105		36.857		16.032		
GRADACIÓN "C"	0.569		35.207		13.838		
ELECCIÓN DE LA GRADACIÓN ÓPTIMA							
De todas las mezclas de prueba ensayadas, se elige aquella mezcla que tenga 4% de Va, por lo menos 17% de VMA y VCA mezcla menor que VCA drc.							
MUESTRAS	Va (%)		VMA (%)		Comparación		
	OBTENIDO	REQUERIDO	OBTENIDO	MÍN.	VCA mezcla	VCA drc	VCA mezcla < VCA drc
GRADACIÓN "A"	4.385	4	17.139	17	37.689	45.809	OK
GRADACIÓN "B"	3.105	4	16.032	17	36.857	44.853	OK
GRADACIÓN "C"	0.569	4	13.838	17	35.207	44.333	OK

Fuente: Elaboración Propia

$$VCA_{mezcla} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{ca}} P_{CA} \right)$$

Donde:

VCA_{mezcla}: Vacíos de Agregado Grueso en Mezcla.

G_{ca}: Gravedad Especifica Bulk del Agregado Grueso.

G_{mb}: Gravedad Especifica Bulk de la mezcla

P_{CA}: Porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla.

$$VCA_{mezcla}(\text{Para gradación "A"}) = 100 - \left(\frac{2.286}{2.586} * 70.50\% \right) = 37.689\%$$

$$VMA = 100 \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} P_s \right)$$

Donde:

VMA: Vacíos en el agregado mineral.



- G_{mb} : Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.
 G_{sb} : Gravedad Específica Bulk de la combinación de Agregados.
 P_s : Porcentaje de Agregado en la mezcla.

$$VMA(\text{Para gradación "A"}) = 100 \left(\frac{2.286}{2.593} * 94.00\% \right) = 17.139\%$$

$$V_a = 100 \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right)$$

Donde:

- V_a : Porcentaje de Vacíos de aire en Mezclas Compactadas.
 G_{mb} : Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.
 G_{mm} : Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla.

$$V_a(\text{Para gradación "A"}) = 100 \left(1 - \frac{2.286}{2.391} \right) = 4.385\%$$

Análisis de la prueba

Posterior a la selección de las 3 combinaciones granulométricas: Gradación “A”: 7% $\frac{3}{4}$ ”, 93% $\frac{1}{2}$ ”; Gradación “B”: 13% $\frac{3}{4}$ ”, 87% $\frac{1}{2}$ ”; Gradación “C”: 20% $\frac{3}{4}$ ”, 80% $\frac{1}{2}$ ”.

Se prepararon 3 probetas asfálticas por cada combinación granulométrica, conteniendo cada una de ellas una proporción de 6% de ligante asfáltico, seguidamente se determinaron las propiedades volumétricas de las probetas compactadas, obteniendo el contenido de vacíos (% V_a), así como los vacíos en el agregado mineral (VMA), también la presencia de vacíos de agregado grueso en mezcla (VCA_{MEZCLA}) y finalmente el contenido de vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado (VCA_{DRC}). En relación con estos resultados se tomará en cuenta el espécimen que cumpla las siguientes condiciones: un resultado de % $V_a \sim 4$, un resultado de %VMA $\geq 17\%$ y un resultado de $VCA_{MEZCLA} < VCA_{DRC}$. (Ver Tabla 125)

MUESTRAS	Va (%)		VMA (%)		Comparación		
	OBTENIDO	REQUERIDO	OBTENIDO	MÍN.	VCA mezcla	VCA drc	VCA mezcla < VCA drc
GRADACIÓN "A"	4.385	4	17.139	17	37.689	45.809	OK
GRADACIÓN "B"	3.105	4	16.032	17	36.857	44.853	OK
GRADACIÓN "C"	0.569	4	13.838	17	35.207	44.333	OK

Determinando así, que la Gradación “A” es la más apta al cumplir los requisitos para ser la combinación granulométrica optima, ya que presenta un V_a cercano al 4%, también el valor de VMA es mayor o igual al 17%, además que el VCA_{MEZCLA} es menor a VCA_{DRC} .



3.6.2.4. Elección del contenido óptimo de ligante.

Tabla 126

Determinación de los Pesos Unitarios de las Gradaciones y Gravedad Específica Bulk de la Combinación de Agregados - Elección del Contenido Óptimo de Ligante

GRADACIÓN ELEGIDA					
MUESTRAS	VOLUMEN DE LA PROBETA (m ³)		P.U. SECO COMPACTADO (RODILLADO) (Kg/m ³)		
GRADACIÓN "A"	0.0032		1399		

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS					
Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas, el valor de la gravedad específica promedio se calcula:					
$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$					
Donde:					
G			Gravedad específica promedio		
G ₁ , G ₂ , ..., G _n			Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..., n		
P ₁ , P ₂ , ..., P _n			Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..., n		
PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE AGREGADO GRUESO (G _{ca})					
MUESTRAS	% DE 3/4"	% DE 1/2"	G _{ca} DE 3/4"	G _{ca} DE 1/2"	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO
GRADACIÓN "A"	7%	93%	2.586	2.586	2.586
PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE DE AGREGADO GRUESO (G _{sa})					
MUESTRAS	% DE 3/4"	% DE 1/2"	G _{sa} DE 3/4"	G _{sa} DE 1/2"	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO
GRADACIÓN "A"	7%	93%	2.593	2.598	2.598
PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS					
MUESTRAS	G _{sb} DE 3/4" Y 1/2"	G _{sb} DE AF	G _{sb} DE FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO	
%	75%	15%	10%		
GRADACIÓN "A"	2.586	2.477	2.850	2.593	

Fuente: Elaboración Propia

G_{ca} : Gravedad específica bulk de los agregados gruesos

G_{sa} : Gravedad específica aparente de los agregados gruesos

G : Gravedad específica de la combinación de agregados

$$G_{ca}, G_{sa}, G = \frac{\sum_1^n (P_n (\text{Porcentajes en pesos de la fracción}))}{\sum_1^n \left(\frac{P_n (\text{Porcentajes en pesos de la fracción})}{G_n (\text{Valores de grav. específica o aparente por fracción})} \right)}$$

$$\text{Grav. Esp. Bulk de A. G. Gradación "A"} (G_{ca}) = \frac{7\% + 93\%}{\frac{7\%}{2.586} + \frac{93\%}{2.586}} = 2.586 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Grav. Esp. Aparente de A. G. Gradación "A"} (G_{sa}) = \frac{7\% + 93\%}{\frac{7\%}{2.593} + \frac{93\%}{2.598}} = 2.598 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Grav. Esp. de Comb de Ag. A. G. Gradación "A"} (G) = \frac{75\% + 15\% + 10\%}{\frac{75\%}{2.586} + \frac{15\%}{2.477} + \frac{10\%}{2.850}} = 2.593 \text{ gr/cm}^3$$



Tabla 127

Determinación de los Vacíos en el Agregado Grueso en la Condición Seco Rodillado - Elección de Contenido Óptimo de Ligante

VACÍOS EN EL AGREGADO GRUESO EN LA CONDICIÓN SECO-RODILLADO (VCA dre)				
<p>Para determinar los vacíos en el agregado grueso se utiliza el método "Unit Weight and Voids in Aggregate" normalizado por AASHTO T19. Cuando se calcula a la densidad seco-rodillado de la fracción de agregado grueso, el VCA dre de la fracción se determina usando:</p>				
$VCA_{DRC} = \left(\frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \right) 100$				
<p>Donde:</p>				
VCA _{DRC}	vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado			
γ_s	peso unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco-rodillado (kg/m ³)			
γ_w	peso unitario del agua (998 kg/m ³)			
G_{ca}	gravedad específica bulk del agregado grueso			
	γ_s	γ_w	G_{ca}	VCA _{DRC}
MUESTRAS	P.U. SECO COMPACTADO (RODILLADO) (Kg/m ³)	P.U. DEL AGUA (Kg/m ³)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL AGREGADO GRUESO	VACÍOS AGREGADO GRUESO SECO COMPACTADO
GRADACIÓN "A"	1399	998	2.586	45.81

Fuente: Elaboración Propia

VCA_{DRC} : Vacíos en el agregado grueso en la condición seco – rodillado

γ_s : Peso unitario de la fracción de agregado grueso en la condición sec – rodillado ($\frac{kg}{m^3}$)

γ_w : Peso unitario del agua ($998 \frac{kg}{m^3}$)

G_{ca} : Gravedad específica Bulk del agregado grueso

$$VCA_{DRC} = \left(\frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \right) 100$$

$$VCA_{DRC}(\text{Para Gradación "A"}) = \left(\frac{2.586 * 998 - 1399}{2.586 * 998} \right) 100 = 45.81\%$$



Tabla 128

Determinación de la Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm) - Elección de Contenido Óptimo de Ligante

PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS EN LA FASE DE SELECCIÓN						
		TMN =	19 mm			
		% DE ASFALTO =	6.00 %			
			6.50 %			
			7.00 %			
			7.50 %			
DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFÁLTICO AL 6%, 6.5%, 7 % y 7.5%						
DENOMINACIÓN	MATERIAL	% POR PESO DEL TOTAL DE AGREGADO	6% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	6.5% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	7% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	7.5% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA
A	AGREGADO GRUESO	75.00	70.500	70.125	69.750	69.375
B	AGREGADO FINO	15.00	14.100	14.025	13.950	13.875
C	FILLER	10.00	9.400	9.350	9.300	9.250
T	CEMENTO ASFÁLTICO	≥ 6%	6.000	6.500	7.000	7.500
TOTALES		100% + CA al ≥ 6%	100.000	100.000	100.000	100.000
<p>En ausencia de datos proporcionados por el Método RICE, la gravedad específica puede calcularse con una relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los componentes de la mezcla:</p> $G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$ <p>Siendo:</p> $A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el agregado grueso}$ $B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el agregado fino}$ $C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el filler}$ <p>Donde:</p> <p>G_{sb} Gravedad específica bulk G_{sa} Gravedad específica aparente</p>						
GRAVEDAD ESPECÍFICA INDIVIDUAL DE LOS AGREGADOS						
DENOMINACIÓN	MATERIAL	GRAV. ESP. BULK	GRAV. ESP. APARENTE	RESULTADO		
		Gsb	Gsa			
A	AG (3/4" 7%-1/2" 93%)	2.586	2.598	2.592		
B	AGREGADO FINO	2.477	2.713	2.595		
C	FILLER	2.85	2.85	2.850		
T	ASFALTO	-	1.017	1.017		
GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE						
MUESTRAS	% DE ASFALTO	A	B	C	Gsa asfalto	Gmm
		AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	FILLER	Grav. Esp. Apar. Del Cemento Asfáltico	Grav. Esp. Teór. Maxima RICE
ASFALTO "1" (6%)	6.00	2.592	2.595	2.850	1.017	2.391
ASFALTO "2" (6.5%)	6.50	2.592	2.595	2.850	1.017	2.373
ASFALTO "3" (7%)	7.00	2.592	2.595	2.850	1.017	2.357
ASFALTO "4" (7.5%)	7.50	2.592	2.595	2.850	1.017	2.340

Fuente: Elaboración Propia

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado grueso}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado fino}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el filler}$$



$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa} \text{ asfalto}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$$

G_{sb} : Gravedad Específica Bulk

G_{sa} : Gravedad Específica Aparente

$$G_{mm}(\text{Cont. asfalto } 6.5\%) = \frac{100}{\frac{6.5\%}{1.017} + \frac{70.125\%}{\frac{2.586 + 2.598}{2}} + \frac{14.025\%}{\frac{2.477 + 2.713}{2}} + \frac{9.35\%}{\frac{2.85 + 2.85}{2}}}$$

$$= \frac{100}{\frac{6.5\%}{1.017} + \frac{70.125\%}{2.592} + \frac{14.025\%}{2.595} + \frac{9.35\%}{2.85}} = 2.373 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 129

Determinación de la Gravedad Específica Bulk - Elección de Contenido Óptimo de Ligante

SELECCIÓN DE CONTENIDO ÓPTIMO DE LIGANTE												
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS												
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <p style="text-align: center;">$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$</p> <p>Donde:</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>G_{mb}</td> <td>Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada</td> </tr> <tr> <td>W_D</td> <td>Peso del espécimen al aire</td> </tr> <tr> <td>W_{SSD}</td> <td>Peso del espécimen en su condición SSD en el aire</td> </tr> <tr> <td>W_{sub}</td> <td>Peso del espécimen sumergido</td> </tr> </table> </div>					G_{mb}	Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada	W_D	Peso del espécimen al aire	W_{SSD}	Peso del espécimen en su condición SSD en el aire	W_{sub}	Peso del espécimen sumergido
G_{mb}	Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada											
W_D	Peso del espécimen al aire											
W_{SSD}	Peso del espécimen en su condición SSD en el aire											
W_{sub}	Peso del espécimen sumergido											
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS												
MUESTRAS	WD Peso al aire (gr)	WSUB Peso sumergido (gr)	WSSD Peso en su condición SSD en el aire (gr)	Gmb Gravedad Específica Bulk del espécimen								
ASFALTO "1" (6%)	1530	1108	1778	2.284								
	1542	1112	1785	2.291								
	1536	1118	1791	2.282								
	PROMEDIO			2.286								
ASFALTO "2" (6.5%)	1232	1136	1675	2.286								
	1241	1137	1680	2.285								
	1253	1139	1687	2.286								
	PROMEDIO			2.286								
ASFALTO "3" (7%)	1218	1124	1655	2.294								
	1220	1118	1651	2.289								
	1229	1111	1646	2.297								
	PROMEDIO			2.293								
ASFALTO "4" (7.5%)	1205	1107	1633	2.291								
	1209	1104	1631	2.294								
	1212	1103	1630	2.300								
	PROMEDIO			2.295								

Fuente: Elaboración Propia

G_{mb} : Gravedad específica Bulk de la muestra compactada

W_D : Peso del espécimen al aire

W_{SSD} : Peso del espécimen en su condición SSD en el aire

W_{sub} : Peso del espécimen sumergido

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$$

$$\text{Gravedad específica bulk \% asfalto } 6.5\% (G_{mb}) = \frac{1232}{1675 - 1136} = 2.286 \text{ gr/cm}^3$$



Tabla 130

Determinación de los Vacíos y Elección del Contenido de Asfalto Óptimo

CÁLCULO DE VACÍOS												
El porcentaje de vacíos de aire (Va), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos de agregado grueso en mezcla) se calculan con las siguientes ecuaciones:												
$V_a = 100 \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) ; VCA_{mezcla} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{ca}} P_{CA} \right) \text{ y } VMA = 100 \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} P_s \right)$												
Donde:												
	Ps	porcentaje de agregado en mezcla										
	PCA	porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla										
	Gmm	gravedad específica teórica máxima de la mezcla										
	Gmb	gravedad específica bulk de la mezcla										
	Gsb	gravedad específica bulk de la combinación de agregados										
	Gca	gravedad específica bulk del agregado grueso										
MUESTRAS	Ps	PCA	Gmm	Gmb	Gsb	Gca						
	% de Agregado en mezcla	% en peso de AG en mezcla	Grav. Especif. Teóri. Maxima de la mezcla	Grav. Espec. Bulk de la mezcla	Grav. Esp. Bulk de la Combinación de Agregados	Grav. Esp. Bulk del AG						
ASFALTO "1" (6%)	94.00	70.500	2.391	2.286	2.593	2.586						
ASFALTO "2" (6.5%)	93.50	70.125	2.373	2.286	2.593	2.586						
ASFALTO "3" (7%)	93.00	69.750	2.357	2.293	2.593	2.586						
ASFALTO "4" (7.5%)	92.50	69.375	2.340	2.295	2.593	2.586						
MUESTRAS	Va	VCA mezcla	VMA									
	% Vacíos de aire	% Vacíos de Agregado Grueso en mezcla	% Vacíos en Agregado Mineral									
ASFALTO "1" (6%)	4.385	37.689	17.139									
ASFALTO "2" (6.5%)	3.691	38.016	17.573									
ASFALTO "3" (7%)	2.690	38.147	17.748									
ASFALTO "4" (7.5%)	1.931	38.436	18.132									
ELECCIÓN DEL CONTENIDO DE ASFALTO ÓPTIMO												
De todas las mezclas de prueba ensayadas, se elige aquella mezcla que tenga 4% de Va, por lo menos 17% de VMA y VCA mezcla menor que VCA drc.												
MUESTRAS	Va (%)		VMA (%)		Comparación							
	OBTENIDO	REQUERIDO	OBTENIDO	MÍN.	VCA mezcla	VCA drc	VCA mezcla < VCA drc					
ASFALTO "1" (6%)	4.385	4	17.139	17	37.689	45.809	OK					
ASFALTO "2" (6.5%)	3.691	4	17.573	17	38.016	45.809	OK					
ASFALTO "3" (7%)	2.690	4	17.748	17	38.147	45.809	OK					
ASFALTO "4" (7.5%)	1.931	4	18.132	17	38.436	45.809	OK					
<p style="text-align: center;">% DE VACÍOS EN FUNCIÓN DEL % DE ASFALTO EN LA MEZCLA</p>												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">% Asfalto Óptimo</th> </tr> <tr> <th>% Va</th> <th>% Asfalto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.00</td> <td>6.26</td> </tr> </tbody> </table>							% Asfalto Óptimo		% Va	% Asfalto	4.00	6.26
% Asfalto Óptimo												
% Va	% Asfalto											
4.00	6.26											

Fuente: Elaboración Propia

$$VCA_{mezcla} = 100 + \left(\frac{G_{mb}}{G_{ca}} \right) * P_{CA}$$



VCA_{mezcla} : Vacíos de agregado grueso en mezcla

G_{ca} : Gravedad específica bulk en agregado grueso

G_{mb} : Gravedad específica bulk de la mezcla

P_{CA} : Porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla

$$VCA_{mezcla}(\text{Para } \% \text{ asfalto } 6.5\%) = 100 - \left(\frac{2.286}{2.586} * 70.125\% \right) = 38.016\%$$

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \right) * P_s$$

VMA : Vacíos de agregado mineral

G_{mb} : Gravedad específica bulk de la mezcla

G_{sb} : Gravedad específica bulk de la combinación de agregados

P_s : Porcentaje de agregado en la mezcla

$$VMA(\text{Para } \% \text{ asfalto } 6.5\%) = 100 \left(\frac{2.286}{2.593} * 93.50\% \right) = 17.573\%$$

$$V_a = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) * 100$$

VCA_{mezcla} : Vacíos de agregado grueso en mezcla

G_{ca} : Gravedad específica bulk en agregado grueso

G_{mb} : Gravedad específica bulk de la mezcla

P_{CA} : Porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla

$$V_a(\text{Para } \% \text{ asfalto } 6.5\%) = \left(1 - \frac{2.286}{2.373} \right) * 100 = 3.691\%$$

Ecuación de línea de tendencia $y = -1.6732x + 14.468$; $x = \frac{y-14.468}{-1.6732}$

$$\text{Para } (V_a: 4\%) = x = \frac{4 - 14.468}{-1.6732} = 6.26\%$$

Análisis de la prueba

Posterior a la selección de las proporciones de ligante:

- Porcentaje de Ligante “1”: 6.0%
- Porcentaje de Ligante “2”: 6.5%
- Porcentaje de Ligante “3”: 7.0%
- Porcentaje de Ligante “4”: 7.5%

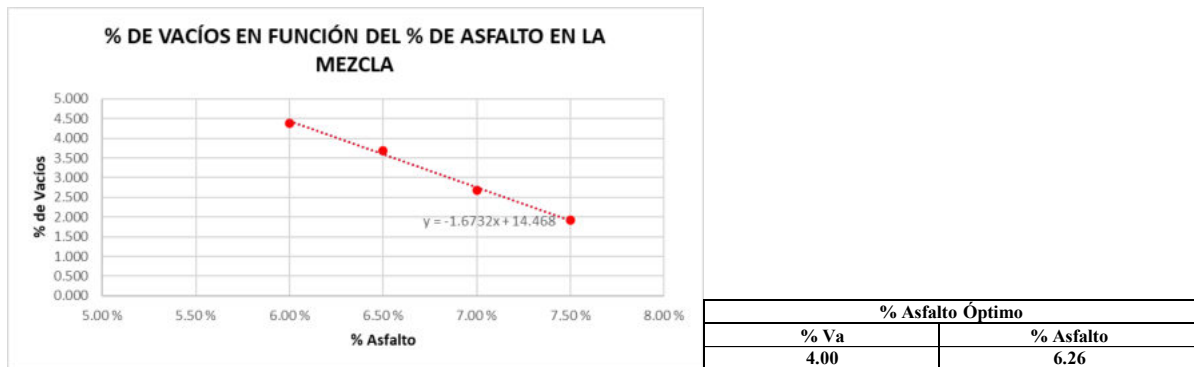
Se prepararon 3 especímenes asfálticos por cada proporción de ligante (6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5%), elaborándolas con la combinación granulométrica óptima (Gradación “A”), seguidamente se determinaron las propiedades volumétricas de las probetas compactadas,



obteniendo el contenido de vacíos (%Va), así como los vacíos en el agregado mineral (VMA), también la presencia de vacíos de agregado grueso en mezcla (VCA_{MEZCLA}) y finalmente el contenido de vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado (VCA_{DRC}). En relación con estos resultados se tomará en cuenta el espécimen que cumpla las siguientes condiciones: un resultado de $\%Va \sim 4$, un resultado de $\%VMA \geq 17\%$ y un resultado de $VCA_{MEZCLA} < VCA_{DRC}$. (Ver Tabla 130)

MUESTRAS	Va (%)		VMA (%)		Comparación		
	OBTENIDO	REQUERIDO	OBTENIDO	MÍN.	VCA mezcla	VCA drc	VCA mezcla < VCA drc
ASFALTO "1" (6%)	4.385	4	17.139	17	37.689	45.809	OK
ASFALTO "2" (6.5%)	3.691	4	17.573	17	38.016	45.809	OK
ASFALTO "3" (7%)	2.690	4	17.748	17	38.147	45.809	OK
ASFALTO "4" (7.5%)	1.931	4	18.132	17	38.436	45.809	OK

Determinando así, que el porcentaje de ligante "1" (6.5% de asfalto) es el más apto, ya que presenta un Va cercano al 4%, también el valor de VMA es mayor o igual al 17%, además que el VCA_{MEZCLA} es menor a VCA_{DRC} .



Dado el gráfico anterior donde se muestra la ecuación junto a la recta de tendencia, se observa que para un 4% de contenido de vacíos se necesitara 6.26% de ligante, de modo que para facilitar el computo se redondeó el valor a 6.5%, cumpliendo además con la proporción mínima de asfalto requerido para mezclas S.M.A.



3.6.3. Ensayo para determinar propiedades físico-mecánicas.

3.6.3.1. Ensayo de escurrimiento.

Tabla 131

Determinación del Escurrimiento para S.M.A. Sin y Con Fibra Celulosa de Papel Bond

ESCURRIMIENTO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA CON FIBRA CELULOSA ELABORADA DE PAPEL BOND AL 0.30%								
TEMPERATURA DE 165°C								
MUESTRAS	% FIBRA	A	B	C	D	(D-C)/(B-A)*100		
		PESO DE CESTA VACÍA (gr)	PESO DE CESTA + MUESTRA (gr)	PESO DE RECIPIENTE (gr)	PESO RECIP. + MATERIAL ESCURRIDOS (gr)	ESCURRIMIENTO		
						%	% PROMEDIO	% MAX.
MUESTRA SIN FIBRA	0.00	35.26	1362.21	1196.36	1250	4.04	4.04	0.30
MUESTRA CON FIBRA PB 0.3%	0.30	39.11	1352.11	1195.36	1197.11	0.13	0.14	
		40.51	1285.26	1199.54	1201.33	0.14		
TEMPERATURA DE 175°C								
MUESTRAS	% FIBRA	A	B	C	D	(D-C)/(B-A)*100		
		PESO DE CESTA VACÍA (gr)	PESO DE CESTA + MUESTRA (gr)	PESO DE RECIPIENTE (gr)	PESO RECIP. + MATERIAL ESCURRIDOS (gr)	ESCURRIMIENTO		
						%	% PROMEDIO	% MAX.
MUESTRA SIN FIBRA	0.00	39.52	1251.21	1188.16	1241.44	4.40	4.40	0.30
MUESTRA CON FIBRA PB 0.3%	0.30	36.85	1265.26	1199.24	1201.85	0.21	0.20	
		41.22	1285.11	1101.36	1103.81	0.20		

Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Escurrimiento (\%)} = \frac{D - C}{B - A} * 100$$

Donde:

A: Peso de la cesta de alambre vacía.

B: Peso de la cesta de alambre y muestra.

C: Peso del recipiente vacío.

D: Peso del recipiente más material escurrido.

$$\begin{aligned} \text{Escurrimiento a } 165^{\circ}\text{C para } 0.30\% \text{ Celulosa de Papel Bond (\%)} &= \frac{1197.11 - 1195.36}{1352.11 - 39.11} * 100 \\ &= 0.13\% \end{aligned}$$

$$\text{Escurrimiento a } 165^{\circ}\text{C Sin Fibra de Celulosa (\%)} = \frac{1250 - 1196.36}{1362.21 - 35.26} * 100 = 4.04\%$$

a) Análisis de la prueba

De acuerdo con los valores determinados del ensayo de Escurrimiento, las mezclas asfálticas sueltas (un total de 6) preparadas con la combinación granulométrica óptima (Gradación "A"), proporción óptima de ligante de 6.5% y el agente estabilizador (Fibra celulosa de papel bond) en la mitad de las muestras al 0.3%, obedecen al requerimiento mínimo instaurado en las



especificaciones para especímenes S.M.A. con diseño Marshall NAPA 2002. Lo contrario sucede con muestras sin fibra, ya que el resultado excedió el máximo recomendado.

3.6.3.2. Parámetros volumétricos de mezclas asfálticas S.M.A.

Tabla 132

Determinación de los Pesos Unitarios y Gravedad Específica Bulk de la Combinación de Agregados - Elección del Contenido de GCR Óptimo

GRADACIÓN ELEGIDA							
MUESTRAS	VOLUMEN DE LA PROBETA (m ³)			P.U. SECO COMPACTADO (RODILLADO) (Kg/m ³)			
GRADACIÓN "A"	0.003			1399			

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS							
Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas, el valor de la gravedad específica promedio se calcula:							
$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$							
Donde:							
G				Gravedad específica promedio			
G ₁ , G ₂ , ..., G _n				Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..., n			
P ₁ , P ₂ , ..., P _n				Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..., n			

PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE AGREGADO GRUESO (Gca)							
MUESTRAS	% DE 3/4"	% DE 1/2"	% DE GCR	Gca DE 3/4"	Gca DE 1/2"	Gca DE GCR	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO
GRADACIÓN "A"	7.00%	93.00%	0.00%	2.586	2.586	1.179	2.586
GRADACIÓN "A"+GCR 5%	6.65%	88.35%	5.00%	2.586	2.586	1.179	2.440
GRADACIÓN "A"+GCR 10%	6.30%	83.70%	10.00%	2.586	2.586	1.179	2.310
GRADACIÓN "A"+GCR 15%	5.95%	79.05%	15.00%	2.586	2.586	1.179	2.193
GRADACIÓN "A"+GCR 20%	5.60%	74.40%	20.00%	2.586	2.586	1.179	2.088

PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE DE AGREGADO GRUESO (Gsa)							
MUESTRAS	% DE 3/4"	% DE 1/2"	% DE GCR	Gsa DE 3/4"	Gsa DE 1/2"	Gsa DE GCR	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO
GRADACIÓN "A"	7.00%	93.00%	0.00%	2.593	2.598	1.180	2.598
GRADACIÓN "A"+GCR 5%	6.65%	88.35%	5.00%	2.593	2.598	1.180	2.450
GRADACIÓN "A"+GCR 10%	6.30%	83.70%	10.00%	2.593	2.598	1.180	2.319
GRADACIÓN "A"+GCR 15%	5.95%	79.05%	15.00%	2.593	2.598	1.180	2.201
GRADACIÓN "A"+GCR 20%	5.60%	74.40%	20.00%	2.593	2.598	1.180	2.095

PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS				
MUESTRAS	Gsb DE 3/4", 1/2" Y GCR	Gsb DE AF	Gsb DE FILLER	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO
	75%	15%	10%	
GRADACIÓN "A"	2.586	2.477	2.85	2.593
GRADACIÓN "A"+GCR 5%	2.440	2.477	2.85	2.482
GRADACIÓN "A"+GCR 10%	2.310	2.477	2.85	2.379
GRADACIÓN "A"+GCR 15%	2.193	2.477	2.85	2.285
GRADACIÓN "A"+GCR 20%	2.088	2.477	2.85	2.198

Fuente: Elaboración Propia

G: Gravedad específica de la combinación de Agregados.

Gca: Gravedad específica bulk de los Agregados Gruesos.

Gsa: Gravedad específica aparente de los Agregados Gruesos.

$$G_{ca}, G_{sa}, G = \frac{\sum_1^n (P_n (\text{Porcentaje en pesos de la fracción}))}{\sum_1^n \left(\frac{P_n (\text{Porcentaje en pesos de la fracción})}{G_n (\text{Valores de grav. específica o aparente por fracción})} \right)}$$



$$\text{Grav. Esp. Bulk de A. G. Gradación "A"} + \text{GCR } 5\% (G_{ca}) = \frac{6.65\% + 88.35\% + 5\%}{\frac{6.65\%}{2.586} + \frac{88.35\%}{2.586} + \frac{5\%}{1.179}} = 2.440 \text{ gr/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Grav. Esp. Aparente de A. G. Gradación "A"} + \text{GCR } 5\% (G_{sa}) &= \frac{6.65\% + 88.35\% + 5\%}{\frac{6.65\%}{2.593} + \frac{88.35\%}{2.598} + \frac{5\%}{1.180}} \\ &= 2.450 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Grav. Esp. Comb de A. G. Gradación "A"} + \text{GCR } 5\% (G) = \frac{75\% + 15\% + 10\%}{\frac{75\%}{2.440} + \frac{15\%}{2.477} + \frac{10\%}{2.85}} = 2.482 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 133

Determinación de los Vacíos en el Agregado Grueso en la Condición Seco Rodillado - Elección del Contenido de GCR Óptimo

VACÍOS EN EL AGREGADO GRUESO EN LA CONDICIÓN SECO-RODILLADO (VCA drc)				
<p>Para determinar los vacíos en el agregado grueso se utiliza el método "Unit Weight and Voids in Aggregate" normalizado por AASHTO T19. Cuando se calcula a la densidad seco-rodillado de la fracción de agregado grueso, el VCA drc de la fracción se determina usando:</p>				
$VCA_{DRC} = \left(\frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \right) 100$				
<p>Donde:</p> <p>VCA_{DRC} vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado</p> <p>γ_s peso unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco-rodillado (kg/m³)</p> <p>γ_w peso unitario del agua (998kg/m³)</p> <p>G_{ca} gravedad específica bulk del agregado grueso</p>				
	γ_s	γ_w	G_{ca}	VCA _{DRC}
MUESTRAS	P.U. SECO COMPACTADO (RODILLADO) (Kg/m ³)	P.U. DEL AGUA (Kg/m ³)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL AGREGADO GRUESO	VACÍOS AGREGADO GRUESO SECO COMPACTADO
GRADACIÓN "A"	1399	998	2.586	45.809
GRADACIÓN "A"+GCR 5%	1378	998	2.440	43.427
GRADACIÓN "A"+GCR 10%	1356	998	2.310	41.200
GRADACIÓN "A"+GCR 15%	1334	998	2.193	39.076
GRADACIÓN "A"+GCR 20%	1311	998	2.088	37.055

Fuente: Elaboración Propia

VCA_{DRC}: Vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado

γ_s : Peso Unitario de la fracción de agregado grueso en la condición secorodillado (Kg/m³)

G_{ca} : Gravedad Específica Bulk del agregado grueso

γ_w : Peso Unitario del agua (998 Kg/m³)

$$VCA_{DRC} = \left(\frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \right) * 100$$

$$VCA_{DRC} (\text{Para Gradación "A"} + \text{GCR } 5\%) = \left(\frac{2.440 * 998 - 1378}{2.440 * 998} \right) * 100 = 43.427\%$$



Tabla 134

Determinación de la Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm) - Elección del Contenido de GCR Óptimo

PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS EN LA FASE DE SELECCIÓN								
TMN =		19 mm						
% DE ASFALTO =		6.50 %						
DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFÁLTICO AL 6.5% + GCR ≥ 0%								
DENOMINACIÓN	AGREGADOS	MATERIALES	% POR PESO DEL TOTAL	SIN GCR	% GCR N°1 (5%)	% GCR N°2 (10%)	% GCR N°3 (15%)	% GCR N°4 (20%)
A	AGREGADO GRUESO	¾"	5	4.675	4.441	4.208	3.974	3.740
		½"	70	65.450	62.178	58.905	55.633	52.360
		GCR	≥ 0%	0.000	3.506	7.013	10.519	14.025
B	AGREGADO FINO	Arena de Río	3.00	2.805	2.805	2.805	2.805	2.805
		Arena Triturada	12.00	11.220	11.220	11.220	11.220	11.220
C	FILLER	Cemento IP	10.00	9.350	9.350	9.350	9.350	9.350
T	CEMENTO ASFÁLTICO	PEN 85/100	6.50	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500
TOTALES		100% + GCR ≥ 0% + 6.5% C.A.		100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
<p>En ausencia de datos proporcionados por el Método RICE, la gravedad específica puede calcularse con un relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los componentes de la mezcla:</p> $G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$ <p>Siendo:</p> $A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el agregado grueso}$ $B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el agregado fino}$ $C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el filler}$ <p>Donde:</p> <p>G_{sb} Gravedad específica bulk G_{sa} Gravedad específica aparente</p>								
GRAVEDAD ESPECÍFICA INDIVIDUAL DE LOS AGREGADOS								
DENOMINACIÓN	MATERIAL	GRAV. ESP. BULK	GRAV. ESP. APARENTE	RESULTADO				
		Gsb	Gsa					
A	AG (3/4" 7%-1/2" 93%)	2.586	2.598	2.592				
	AG (AG 95%-GCR 5%)	2.440	2.450	2.445				
	AG (AG 90%-GCR 10%)	2.310	2.319	2.315				
	AG (AG 85%-GCR 15%)	2.193	2.201	2.197				
	AG (AG 80%-GCR 20%)	2.088	2.095	2.091				
B	AGREGADO FINO	2.477	2.713	2.595				
C	FILLER	2.850	2.850	2.850				
T	ASFALTO	-	1.017	1.017				
GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE								
MUESTRAS	% DE ASFALTO	A	B	C	Gsa asfalto	Gmm		
		AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	FILLER	Grav. Esp. Apar. Del Cemento Asfáltico	Grav. Esp. Teór. Maxima RICE		
SMA - P	6.50	2.592	2.595	2.850	1.017	2.373		
SMA - GCR - 5%	6.50	2.445	2.595	2.850	1.017	2.286		
SMA - GCR - 10%	6.50	2.315	2.595	2.850	1.017	2.204		
SMA - GCR - 15%	6.50	2.197	2.595	2.850	1.017	2.128		
SMA - GCR - 20%	6.50	2.091	2.595	2.850	1.017	2.057		

Fuente: Elaboración Propia

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado grueso.}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado fino.}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el filler.}$$



$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{asfalto}}{G_{sa \text{asfalto}}} + \frac{\% \text{grueso}}{A} + \frac{\% \text{fino}}{B} + \frac{\% \text{filler}}{C}}$$

G_{mm} (Para Gradación A + GCR 5%)

$$= \frac{100}{\frac{6.5\%}{1.017} + \frac{70.125\%}{\frac{2.440 + 2.450}{2}} + \frac{14.025\%}{\frac{2.477 + 2.713}{2}} + \frac{9.350\%}{\frac{2.850 + 2.850}{2}}}$$

$$= \frac{100}{\frac{6.5\%}{1.017} + \frac{70.125\%}{2.445} + \frac{14.025\%}{2.595} + \frac{9.350\%}{2.85}} = 2.286 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 135

Determinación de la Gravedad Específica Bulk de Mezclas Compactadas - Elección de Contenido de GCR Óptimo

SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO ÓPTIMO				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS				
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>Donde:</p> $G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$ <p> G_{mb} Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada W_D Peso del espécimen al aire W_{SSD} Peso del espécimen en su condición SSD en el aire W_{sub} Peso del espécimen sumergido </p> </div>				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD Peso al aire (gr)	WSUB Peso sumergido (gr)	WSSD Peso en su condición en el aire (gr)	Gmb Gravedad Específica Bulk del espécimen
SMA - P - 1	1270.01	711.18	1273.10	2.260
SMA - P - 2	1222.08	742.41	1274.11	2.298
SMA - P - 3	1350.14	753.10	1356.10	2.239
PROMEDIO				2.266
SMA - GCR - 5% - 1	1404.00	793.60	1456.10	2.119
SMA - GCR - 5% - 2	1580.00	874.70	1582.70	2.232
SMA - GCR - 5% - 3	1299.00	654.90	1318.10	1.959
PROMEDIO				2.103
SMA - GCR - 10% - 1	1267.00	655.80	1272.90	2.053
SMA - GCR - 10% - 2	1167.00	619.00	1175.60	2.097
SMA - GCR - 10% - 3	1257.00	661.70	1262.20	2.093
PROMEDIO				2.081
SMA - GCR - 15% - 1	1459.00	738.50	1470.80	1.992
SMA - GCR - 15% - 2	1166.00	564.40	1149.90	1.991
SMA - GCR - 15% - 3	1274.00	682.60	1284.60	2.116
PROMEDIO				2.033
SMA - GCR - 20% - 1	1110.00	556.10	1122.70	1.959
SMA - GCR - 20% - 2	1326.00	685.20	1336.00	2.037
SMA - GCR - 20% - 3	1075.00	551.00	1091.50	1.989
PROMEDIO				1.995

Fuente: Elaboración Propia

G_{mb} : Gravedad específica Bulk de la muestra compactada

W_D : Peso del espécimen al aire

W_{SSD} : Peso del espécimen en su condición SSD en el aire

W_{sub} : Peso del espécimen sumergido

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$$



$$\text{Gravedad específica bulk \% SMA - P - 1 } (G_{mb}) = \frac{1270.01}{1273.10 - 711.18} = 2.260 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 136

Determinación de los Vacíos y Elección de Contenido de GCR Óptimo

CÁLCULO DE VACÍOS												
El porcentaje de vacíos de aire (Va), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos de agregado grueso en mezcla se calculan con las siguientes ecuaciones:												
$V_a = 100 \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) ; VCA_{mezcla} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{ca}} P_{CA} \right) \text{ y } VMA = 100 \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} P_s \right)$												
Donde:												
	Ps	porcentaje de agregado en mezcla										
	PCA	porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla										
	Gmm	gravedad específica teórica máxima de la mezcla										
	Gmb	gravedad específica bulk de la mezcla										
	Gsb	gravedad específica bulk de la combinación de agregados										
	Gca	gravedad específica bulk del agregado grueso										
MUESTRAS	Ps	PCA	Gmm	Gmb	Gsb	Gca						
	% de Agregado en mezcla	% en peso de AG en mezcla	Grav. Especif. Teóri. Máxima de la mezcla	Grav. Espec. Bulk de la mezcla	Grav. Esp. Bulk de la Combinación de Agregados	Grav. Esp. Bulk del AG						
SMA - P	84.15	70.125	2.373	2.266	2.593	2.586						
SMA - GCR - 5%	84.15	70.125	2.286	2.103	2.482	2.440						
SMA - GCR - 10%	84.15	70.125	2.204	2.081	2.379	2.310						
SMA - GCR - 15%	84.15	70.125	2.128	2.033	2.285	2.193						
SMA - GCR - 20%	84.15	70.125	2.057	1.995	2.198	2.088						
MUESTRAS	Va		VCA mezcla	VMA								
	% Vacíos de aire		% Vacíos de Agregado Grueso en mezcla	% Vacíos en Agregado Mineral								
SMA - P	4.535		38.558	26.465								
SMA - GCR - 5%	7.981		39.565	28.680								
SMA - GCR - 10%	5.580		36.833	26.400								
SMA - GCR - 15%	4.448		34.988	25.123								
SMA - GCR - 20%	3.012		32.980	23.624								
ELECCIÓN DEL CONTENIDO DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO ÓPTIMO												
De todas las mezclas de prueba ensayadas, se elige aquella mezcla que tenga 4% de Va, por lo menos 17% de VMA y VCA mezcla menor que VCA dre.												
MUESTRAS	Va (%)		VMA (%)		Comparación							
	OBTENIDO	REQUERIDO	OBTENIDO	MÍN.	VCA mezcla	VCA dre	VCA mezcla < VCA dre					
SMA - P	4.535	4	26.465	17	38.558	45.809	OK					
SMA - GCR - 5%	7.981	4	28.680	17	39.565	43.427	OK					
SMA - GCR - 10%	5.580	4	26.400	17	36.833	41.200	OK					
SMA - GCR - 15%	4.448	4	25.123	17	34.988	39.076	OK					
SMA - GCR - 20%	3.012	4	23.624	17	32.980	37.055	OK					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">% Grano de Caucho Reciclado Óptimo</th> </tr> <tr> <th>% Va</th> <th>% GCR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.00</td> <td>16.41%</td> </tr> </tbody> </table>							% Grano de Caucho Reciclado Óptimo		% Va	% GCR	4.00	16.41%
% Grano de Caucho Reciclado Óptimo												
% Va	% GCR											
4.00	16.41%											

Fuente: Elaboración Propia

$$VCA_{mezcla} = 100 + \left(\frac{G_{mb}}{G_{ca}} \right) * P_{CA}$$

VCA_{mezcla} : Vacíos de agregado grueso en mezcla

G_{ca} : Gravedad específica bulk en agregado grueso



G_{mb} : Gravedad específica bulk de la mezcla

P_{CA} : Porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla

$$VCA_{mezcla}(\text{Para gradación "A"} + \text{GCR } 5\%) = 100 - \left(\frac{2.103}{2.440} * 70.125\% \right) = 39.565\%$$

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \right) * P_s$$

VMA: Vacíos de agregado mineral

G_{mb} : Gravedad específica bulk de la mezcla

G_{sb} : Gravedad específica bulk de la combinación de agregados

P_s : Porcentaje de agregado en la mezcla

$$VMA(\text{Para gradación "A"} + \text{GCR } 5\%) = 100 - \left(\frac{2.103}{2.482} * 84.15\% \right) = 28.680\%$$

$$V_a = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) * 100$$

VCA_{mezcla} : Vacíos de agregado grueso en mezcla

G_{ca} : Gravedad específica bulk en agregado grueso

G_{mb} : Gravedad específica bulk de la mezcla

P_{CA} : Porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla

$$V_a(\text{Para gradación "A"} + \text{GCR } 5\%) = \left(1 - \frac{2.103}{2.286} \right) * 100 = 7.981\%$$

Ecuación de línea de tendencia $y = -32.082x + 9.2654$; $x = \frac{y-9.2654}{-32.082}$

$$\text{Para } (V_a: 4\%) = x = \frac{4\% - 9.2654}{-32.082} = 16.41\%$$

a) Análisis de la prueba

Posterior a la selección de las proporciones Grano de Caucho Reciclado:

- % de GCR “1”: 0.0%
- % de GCR “2”: 5.0%
- % de GCR “3”: 10.0%
- % de GCR “4”: 15.0%
- % de GCR “5”: 20.0%

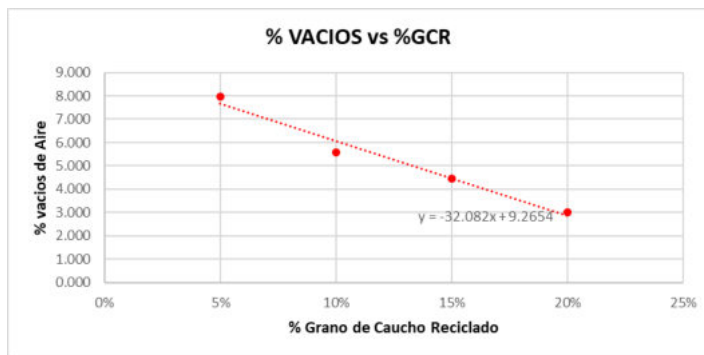
Se prepararon 3 probetas asfálticas por cada proporción de Grano de Caucho Reciclado (0%, 5%, 10%, 15%, 20%), elaborándolas con la combinación granulométrica óptima (Gradación “A”) y la proporción de ligante óptimo de 6.5%, seguidamente se determinaron las propiedades volumétricas de las probetas compactadas, obteniendo el contenido de vacíos (% V_a), así como



los vacíos en el agregado mineral (VMA), también la presencia de vacíos de agregado grueso en mezcla (VCA_{MEZCLA}) y finalmente el contenido de vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado (VCA_{DRC}). En relación con estos resultados se tomará en cuenta el espécimen que cumpla las siguientes condiciones: un resultado de $\%Va \sim 4$, un resultado de $\%VMA \geq 17\%$ y un resultado de $VCA_{MEZCLA} < VCA_{DRC}$.

MUESTRAS	Va (%)		VMA (%)		Comparación		
	OBTENIDO	REQUERIDO	OBTENIDO	MÍN.	VCA mezcla	VCA drc	VCA mezcla < VCA drc
SMA - P	4.535	4	26.465	17	38.558	45.809	OK
SMA - GCR - 5%	7.981	4	28.680	17	39.565	43.427	OK
SMA - GCR - 10%	5.580	4	26.400	17	36.833	41.200	OK
SMA - GCR - 15%	4.448	4	25.123	17	34.988	39.076	OK
SMA - GCR - 20%	3.012	4	23.624	17	32.980	37.055	OK

Determinando así, que el % de GCR “4” (15% de GCR) es el más apto, ya que presenta un Va cercano al 4%, también el valor de VMA es mayor o igual al 17%, además que el VCA_{MEZCLA} es menor a VCA_{DRC} . (Ver Tabla 136)



% Grano de Caucho Reciclado Óptimo	
% Va	% GCR
4.00	16.41%

Dado el gráfico anterior donde se muestra la ecuación junto a la recta de tendencia, se observa que para un 4% de contenido de vacíos se necesitara 16.41% de GCR, de modo que para facilitar el computo se redondeó el valor a 16.5%.



3.6.3.3. Ensayo de estabilidad y flujo marshall.

Tabla 137

Determinación de la Estabilidad y Flujo de S.M.A. Sin y Con Grano de Caucho Reciclado

ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA CON Y SIN GRANO DE CAUCHO RECICLADO							
ESTABILIDAD MARSHALL							
MUESTRA	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	DIAMETRO APROX. DEL ESPECÍMEN	ALTURA APROX. DEL ESPECÍMEN	VOLUMEN DEL ESPECÍMEN	FACTOR DE CORRECCIÓN DE ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO
	kgf	cm	cm	cm ³		kgf	kgf
S-GCR-1	1945.08	10.14	6.98	1125.97	0.86	1672.77	1710.90
S-GCR-2	1865.04	10.08	6.78	1080.24	0.89	1659.89	
S-GCR-3	1914.94	10.18	6.61	1075.36	0.94	1800.05	
GCR-O-1	1372.95	10.23	6.60	1083.90	0.94	1290.57	859.10
GCR-O-2	1481.15	10.20	8.68	1417.72	0.56	829.44	
GCR-O-3	831.45	10.15	8.78	1420.04	0.55	457.30	

FLUJO MARSHALL		
MUESTRA	FLUJO	FLUJO PROMEDIO
	0.01 pulg. (0.25 mm)	
SMA-S-GCR-1	5.1	6.37
SMA-S-GCR-2	6.8	
SMA-S-GCR-3	7.2	
SMA-GCR-O-1	8.2	8.77
SMA-GCR-O-2	8.9	
SMA-GCR-O-3	9.2	

Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Prom. Diametro de los especimenes} = \frac{\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4}{4}$$

$$\text{Prom. Diam. Especim. (SMA - GCR - 1)} = \frac{10.15 + 10.15 + 10.10 + 10.15}{4} = 10.14 \text{ cm}$$

$$\text{Prom. Altura de los especimenes} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}$$

$$\text{Prom. Altura Especim. (SMA - GCR - 1)} = \frac{6.95 + 6.95 + 7.05 + 6.95}{4} = 6.98 \text{ cm}$$

Corrección de estabilidad Marshall = Estabilidad * Factor de corrección

$$\text{Corrección de estabilidad (SMA - GCR - 1)} = 1945.08 * 0.86 = 1672.77 \text{ kgf.}$$

a) Análisis de la prueba.

De acuerdo con los resultados de la prueba de Estabilidad y Flujo Marshall, las mezclas asfálticas compactadas (3 especímenes patrón y 3 especímenes con GCR óptimo) preparadas con la combinación granulométrica óptima (Gradación "A"), proporción óptima de ligante de 6.5% y el agente estabilizador (Fibra celulosa de papel bond) al 0.3%, obedecen al



requerimiento mínimo instaurado en las especificaciones para especímenes S.M.A. con diseño Marshall NAPA 2002.

3.6.3.4. *Ensayo de resistencia de mezcla asfálticas compactadas al daño inducido por humedad.*

Tabla 138

Determinación de los Volúmenes de Vacíos de Aire

CÁLCULO DE LOS VOLUMEN VACÍOS					
MUESTRAS	% VACIOS DE AIRE	DIAMETRO DE LA PROBETA (mm)	ALTURA DE LA PROBETA (mm)	VOLUMEN DE LA PROBETA (cm ³)	Va
					VOLUMEN DE VACIOS DE AIRE (cm ³)
S-GCR-1	4%	101.40	67.50	545.09	21.80
S-GCR-2	4%	101.60	66.60	539.95	21.60
S-GCR-3	4%	101.25	65.25	525.36	21.01
S-GCR-4	4%	101.50	70.25	568.42	22.74
S-GCR-5	4%	101.10	67.00	537.86	21.51
S-GCR-6	4%	101.38	66.25	534.73	21.39
GCR-O-1	4%	101.50	82.75	669.56	26.78
GCR-O-2	4%	101.60	78.00	632.37	25.29
GCR-O-3	4%	101.30	84.30	679.42	27.18
GCR-O-4	4%	100.00	82.75	649.92	26.00
GCR-O-5	4%	102.50	80.30	662.60	26.50
GCR-O-6	4%	101.00	84.75	679.00	27.16

MUESTRAS	SUBGRUPO SECO	SUBGRUPO HUMEDO
		S-GCR-3
	S-GCR-4	S-GCR-2
	S-GCR-6	S-GCR-5
	GCR-O-1	GCR-O-2
	GCR-O-4	GCR-O-3
	GCR-O-6	GCR-O-5
PROMEDIO DE Va (cm ³)	24.18	23.98

Fuente: Elaboración Propia

$$Prom. \text{ Diametro de los especimenes} = \frac{\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4}{4}$$

$$Prom. \text{ Diam. Especim. (S - GCR - 1)} = \frac{10.15 + 10.15 + 10.10 + 10.15}{4} = 10.14 \text{ cm}$$

$$Prom. \text{ Altura de los especimenes} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}$$

$$Prom. \text{ Altura. Especim. (S - GCR - 1)} = \frac{6.60 + 6.80 + 6.70 + 6.90}{4} = 6.75 \text{ cm}$$

$$\text{Volumen de la probeta (S - GCR - 1)} = \pi * \frac{D^2}{4} * h_{promedio}$$

$$\text{Volumen de la probeta (S - GCR - 1)} = \pi * \frac{6.75^2}{4} * 10.14 = 545.09 \text{ cm}^3$$



$$\begin{aligned} \text{Volumen de vacíos de aire } (S - GCR - 1) &= \% \text{ Vacíos de aire} * \text{Volumen de la probeta} \\ &= 4\% * 549.09 \text{ cm}^3 = 21.80 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Tabla 139

Determinación de la Tracción Indirecta para S.M.A. Sin y Con GCR

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA SIN Y CON GCR						
ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS						
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS SMA		D	t	P	St=(2000*P)/(π*t*D)	St PROMEDIO
		DIAMETRO DE LA PROBETA	ALTURA DE LA PROBETA	CARGA MÁXIMA	REFUERZO A LA TENSIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO
		(mm)	(mm)	(N)	(Kpa)	(Kpa)
CONDICIÓN SECA	S-GCR-3	101.25	65.25	4133.81	398.34	382.94
	S-GCR-4	101.50	70.25	4047.10	361.34	
	S-GCR-6	101.38	66.25	4105.15	389.13	
	GCR-O-1	101.50	82.75	4381.14	332.07	340.55
	GCR-O-4	100.00	82.75	4484.70	345.02	
	GCR-O-6	101.00	84.75	4632.62	344.55	
CONDICIÓN HUMEDA	S-GCR-1	101.40	67.50	3526.35	327.99	336.63
	S-GCR-2	101.60	66.60	3591.82	337.93	
	S-GCR-5	101.10	67.00	3659.80	343.96	
	GCR-O-2	101.60	78.00	3842.11	308.65	306.96
	GCR-O-3	101.30	84.30	3990.09	297.46	
	GCR-O-5	102.50	80.30	4069.68	314.78	
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TSR)						
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS SMA	DESCRIPCION	St		TSR		
		ESFUERZO A LA TENSIÓN		COEFICIENTE TSR		
		(Kpa)		(%)		
CONDICIÓN SECA	SIN GCR	382.94		87.91%		
CONDICIÓN HÚMEDA	SIN GCR	336.63		70.00%		
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TSR)						
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS SMA	DESCRIPCION	St		TSR		
		ESFUERZO A LA TENSIÓN		COEFICIENTE TSR		
		(Kpa)		(%)		
CONDICIÓN SECA	GCR OPTIMO	340.55		90.14%		
CONDICIÓN HÚMEDA	GCR OPTIMO	306.96		70.00%		

Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Esfuerzo a la tensión } (St) = \frac{2000 * \text{Carga Máxima } (P)}{\pi * \text{altura prob. } (t) * \text{diámetro prob. } (D)}$$

$$\text{Esfuerzo a la tensión } (S - GCR - 3)(St) = \frac{2000 * 4133.81}{\pi * 65.25 * 101.25} = 398.34 \text{ Kpa}$$

$$\text{Razon del Esfuerzo a Tensión}(TSR) = \frac{S_2}{S_1} * 100$$

Donde:

S1: Promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo seco, KPa.

S2: Promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo condicionado, KPa.



$$\text{Razon del Esfuerzo a Tensión SIN GCR (TSR)} = \frac{336.63}{382.94} * 100 = 87.91\%$$

a) *Análisis de la prueba.*

De acuerdo con los resultados de la prueba de Resistencia al Daño Inducido por Humedad, las mezclas asfálticas compactadas (6 especímenes patrón y 6 especímenes con GCR optimo) preparadas con la combinación granulométrica optima (Gradación "A"), proporción optima de ligante de 6.5% y el agente estabilizador (Fibra celulosa de papel bond) al 0.3%, obedecen al requerimiento mínimo instaurado en las especificaciones para especímenes S.M.A. con diseño Marshall NAPA 2002.

3.6.3.5. Ensayo de deformación permanente de mezclas asfálticas compactadas mediante la rueda de Hamburgo.

Tabla 140

Gravedad Especifica Bulk de la Combinación de Agregados para Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS							
Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas, el valor de la gravedad específica promedio se calcula:							
$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$							
Donde:							
G				Gravedad específica promedio			
G ₁ , G ₂ , ..., G _n				Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..., n			
P ₁ , P ₂ , ..., P _n				Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..., n			
PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE AGREGADO GRUESO (Gca)							
MUESTRAS	% DE 3/4"	% DE 1/2"	% DE GCR	Gca DE 3/4"	Gca DE 1/2"	Gca DE GCR	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO
GRADACIÓN "A"	7.00%	93.00%	0.00%	2.586	2.586	1.179	2.586
GRADACIÓN "A"+GCR 16.5%	5.85%	77.66%	16.50%	2.586	2.586	1.179	2.160
PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE DE AGREGADO GRUESO (Gsa)							
MUESTRAS	% DE 3/4"	% DE 1/2"	% DE GCR	Gsa DE 3/4"	Gsa DE 1/2"	Gsa DE GCR	GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO
GRADACIÓN "A"	7.00%	93.00%	0.00%	2.593	2.598	1.180	2.598
GRADACIÓN "A"+GCR 16.5%	5.85%	77.66%	16.50%	2.593	2.598	1.180	2.168
PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS							
MUESTRAS	Gsb DE 3/4", 1/2" Y GCR		Gsb DE AF	Gsb DE FILLER		GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO	
%	75%		15%	10%			
GRADACIÓN "A"	2.586		2.477	2.85		2.593	
GRADACIÓN "A"+GCR 16.5%	2.160		2.477	2.85		2.258	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 141

Gravedad Específica Teórica Máxima para Ensayo de Rueda de Hamburgo para Ambas Gradaciones

PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS EN LA FASE DE SELECCIÓN						
TMN =	19 mm					
% DE ASFALTO =	6.50 %					
DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFÁLTICO AL 6.5% + GCR ≥ 0%						
DENOMINACIÓN	AGREGADOS	MATERIALES	% POR PESO DEL TOTAL	SIN GCR	% GCR N°1 (16.5%)	
A	AGREGADO GRUESO	¾"	5	4.675	3.904	
		½"	70	65.450	54.651	
		GCR	≥ 0%	0.000	11.571	
B	AGREGADO FINO	Arena de Río	3.00	2.805	2.805	
		Arena Triturada	12.00	11.220	11.220	
C	FILLER	Cemento IP	10.00	9.350	9.350	
T	CEMENTO ASFÁLTICO	PEN 85/100	6.50	6.500	6.500	
TOTALES		100% + GCR ≥ 0% + 6.5% C.A.		100.000	100.000	
<p>En ausencia de datos proporcionados por el Método RICE, la gravedad específica puede calcularse con un relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los componentes de la mezcla:</p> $G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$ <p>Siendo:</p> $A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el agregado grueso}$ $B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el agregado fino}$ $C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el filler}$ <p>Donde:</p> <p>G_{sb} Gravedad específica bulk G_{sa} Gravedad específica aparente</p>						
GRAVEDAD ESPECÍFICA INDIVIDUAL DE LOS AGREGADOS						
DENOMINACIÓN	MATERIAL	GRAV. ESP. BULK	GRAV. ESP. APARENTE	RESULTADO		
		Gsb	Gsa			
A	AG (¾" 7%-1/2" 93%)	2.586	2.598	2.592		
	AG (AG 95%-GCR 5%)	2.160	2.168	2.164		
B	AGREGADO FINO	2.477	2.713	2.595		
C	FILLER	2.850	2.850	2.850		
T	ASFALTO	-	1.017	1.017		
GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE						
MUESTRAS	% DE ASFALTO	A	B	C	Gsa asfalto	Gmm
		AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	FILLER	Grav. Esp. Apar. Del Cemento Asfáltico	Grav. Esp. Teór. Maxima RICE
SMA - P	6.50	2.592	2.595	2.850	1.017	2.373
SMA - GCR - 16.5%	6.50	2.164	2.595	2.850	1.017	2.106

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 142

Gravedad Específica Bulk de las Probetas Compactadas para el Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo - Sin y Con GCR

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MUESTRAS DE 6"				
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS				
$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$				
Donde:				
	G_{mb}	Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada		
	W_D	Peso del espécimen al aire		
	W_{SSD}	Peso del espécimen en su condición SSD en el aire		
	W_{sub}	Peso del espécimen sumergido		
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD	WSUB	WSSD	Gmb
	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso en su condición en el aire (gr)	Gravedad Específica Bulk del espécimen
SMA - P - 1	2262.50	1270.70	2274.20	2.255
SMA - P - 2	2266.20	1263.40	2274.30	2.242
PROMEDIO				2.248
SMA - GCR - 16.5% - 1	2051.20	1024.50	2092.90	1.920
SMA - GCR - 16.5% - 2	2034.10	1027.30	2079.60	1.933
PROMEDIO				1.926

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 143

Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas - Sin y Con GCR

DEFORMACION PERMANENTE		
DATOS DEL ENSAYO	SMA SIN GCR	SMA CON GCR OPTIMO
Tipo de Muestra	Doble núcleo	Doble núcleo
Diámetro	150 mm	150 mm
Espesor	60 mm	75 mm
Temperatura	50 °C	50 °C
Gmb	2.248	1.926
Gmm	2.373	2.106
Número de Pasadas	1528	1528
Profundidad de Huella	1.25 mm	12.00 mm

Fuente: Elaboración Propia

a) *Análisis de la prueba*

De acuerdo con los resultados de la prueba de Rueda Cargada de Hamburgo, las mezclas asfálticas compactadas (2 especímenes patrón y 2 especímenes con GCR optimo) preparadas con la combinación granulométrica optima (Gradación "A"), proporción optima de ligante de 6.5% y el agente estabilizador (Fibra celulosa de papel bond) al 0.3%, no obedecen al requerimiento mínimo instaurado en la norma AASHTO T 324.



3.6.4. Análisis de Costos de Mezclas Asfálticas S.M.A. Patrón - S.M.A. Con GCR.

Tabla 144

Determinación de la Unidad, Rendimiento y Mano de Obra de la Partida

PARTIDA:				
Tendra por nombre "PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFALTICA S.M.A.", la partida solo contempla la producción de mezcla asfálticas, mas no su transporte a obra.				
UNIDAD DE LA PARTIDA:				
La unidad sera toneladas metricas ya que es la unidad de producción de una planta asfáltica.				
RENDIMIENTO:				
Esta dado por la capacidad de producción de la planta que se propone, en este caso 350 toneladas metricas por día.				
MANO DE OBRA:				
Para producir 350 toneladas metricas en un día de mezcla asfáltica S.M.A. PATRON necesito el siguiente personal:				
PERSONAL	CUADRILLA	OBSERVACIONES		
Capataz	0.2	Verificara la producción		
Operario	2	Para el cargador sobre llantas que acarrea el agregado a la planta		
Peones	3	Encargado para el manejo de la planta de asfalto		
		Para diferentes trabajos de apoyo en planta		
CANTIDAD DE MANO DE OBRA:				
Para calcular el aporte unitario de la mano de obra se usara la siguiente formula:				
$Cantidad (M.O.) = \frac{Cuadrilla * Jornal}{Rendimiento}$				
PERSONAL	CUADRILLA	JORNAL (Hrs)	RENDIMIENTO (Tm/día)	CANTIDAD (hh)
Capataz	0.2	8	350	0.005
Operario	2	8	350	0.046
Peones	3	8	350	0.069

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 145

Determinación de la Cantidad de Materiales de la Partida

MATERIALES:						
Los materiales se cuantifican para una tonelada metrica, por lo que necesitaremos los siguientes datos.						
	AGREGADOS	PESO ESPECIFICO	UNIDAD			
	3/4"	2.586	gr/cm ³			
	1/2"	2.586	gr/cm ³			
	GCR	1.18	gr/cm ³			
	Fino	2.477	gr/cm ³			
	Filler	2.85	gr/cm ³			
	Asfalto PEN 85/100	1.017	gr/cm ³			
DOSIFICACION PARA MEZCLA PATRON Y MODIFICADA						
Utilizando los porcentajes del diseño de mezclas, se puede decir que para una tonelada metrica necesito:						
	AGREGADO	SMA PATRON	SMA CON GCR	SMA PATRON	SMA CON GCR	
		%		Cantidad en Tm		
	3/4"	4.675	3.904	0.047	0.039	
	1/2"	65.45	54.651	0.655	0.547	
	GCR	0	11.571	0.000	0.116	
	Fino	14.025	14.0245	0.140	0.140	
	Asfalto PEN 85/100	6.5	6.5	0.065	0.065	
	Filler	9.35	9.35	0.094	0.094	
	Fibra Celulosa de Papel Bond	0.3	0.3	0.003	0.003	
	TOTAL	100.3	100	1.003	1.003	
VOLUMEN DE LOS MATERIALES:						
Para calcular el volumen de los materiales, utilizaremos la relación entre cantidad y peso específico:						
$\frac{\text{Cantidad} \left(\frac{\text{ton}}{1}\right)}{\text{Peso específico} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) * \left(\frac{1 \text{ ton}}{1000000 \text{ gr}}\right) * \left(\frac{1000000 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3}\right)} = \text{Volumen (m}^3\text{)}$						
	AGREGADO	SMA PATRON	SMA CON GCR	SMA PATRON	SMA CON GCR	
		Cantidad en Tm		Cantidad en M3		
	3/4"	0.047	0.039	0.018	0.015	
	1/2"	0.655	0.547	0.253	0.211	
	GCR	0.000	0.116	0.000	0.098	
	Arena de Rio	0.140	0.140	0.057	0.057	
	Asfalto PEN 85/100	0.065	0.065	0.064	0.064	
	Filler	0.094	0.094	0.033	0.033	
	Fibra Celulosa de Papel Bond	0.003	0.003	-	-	
	TOTAL	1.003	1.003	0.392	0.445	
*La fibra celulosa de papel bond es un agente estabilizador por lo que su volumen no influye en la mezcla y no es incidente.						
CONVERSION DE MATERIALES A GLN, BOL, KG:						
Utilizamos las siguientes relaciones para convertir las unidades:						
De m3 a gln: $\text{m}^3 * \frac{264.172 \text{ gln}}{1 \text{ m}^3}$ De toneladas a bolsas de cemento: $\text{ton} * \frac{1 \text{ bol}}{0.0425 \text{ ton}}$ De ton a kg: $\text{ton} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}}$						
	AGREGADO	SMA PATRON	SMA CON GCR	SMA PATRON	SMA CON GCR	UNIDAD
		Cantidad en M3				
	3/4"	0.018	0.015	0.018	0.015	m ³
	1/2"	0.253	0.211	0.253	0.211	m ³
	Arena de Rio	0.057	0.057	0.057	0.057	m ³
	Asfalto PEN 85/100	0.064	0.064	16.886	16.886	gln
		Cantidad en Tm				
	GCR	0.000	0.116	0.000	115.710	kg
	Filler	0.094	0.094	2.200	2.200	bol
	Fibra Celulosa de Papel Bond	0.003	0.003	3.000	3.000	kg

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 146

Determinación de los Precios de los Recursos de la Partida

PRECIOS DE LOS RECURSOS			
	UNIDAD	PRECIO S/	OBSERVACIONES
MANO DE OBRA			
Capataz	hh	30.08	Precio referencial de otros expedientes.
Operario	hh	24.23	Precios de acuerdo a la tabla de salarios y beneficios
Peon	hh	17.29	sociales para el regimen de construcción civil.
MATERIALES			
Asfalto PEN 85/100	gln	7.80	Precios reales al momento de adquirir los materiales para la presente investigación.
Piedra chancada de 3/4"	m3	60.00	
Piedra chancada de 1/2"	m3	60.00	
Arena fina y gruesa	m3	80.00	
Cemento Portland IP	bol	27.40	
Fibra Celulosa de Papel Bond	kg	10.00	
Grano de Caucho Reciclado	kg	0.90	
Diésel B5 S-50	gh	21.49	Precio acorde al mercado.
EQUIPOS			
Cargador sobre llantas 125 HP 2.5 yd3	hm	210.69	Precio acorde al mercado.
Planta de asfalto de 60-115 TON/H	hm	376.69	
Grupo Electrogenero 116 HP 75 Kw	hm	201.03	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 147

Análisis de Precios Unitarios de Mezcla Asfáltica S.M.A. Patrón

PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFALTICA S.M.A. PATRÓN						
Rendimiento tm/día	MO 350.0000	EQ 350.0000	C. U. directo por tm	349.70		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra						
101010001	CAPATAZ	hh	0.2000	0.005	30.08	0.14
101010002	OPERARIO	hh	2.0000	0.046	24.23	1.11
101010003	PEON	hh	3.0000	0.069	17.29	1.19
						2.44
Materiales						
101010004	ASFALTO PEN 85/100	gal		16.886	7.80	131.71
101010005	PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.018	60.00	1.08
101010006	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.253	60.00	15.19
101010007	ARENA FINA Y GRUESA	m3		0.057	80.00	4.53
101010008	CEMENTO PORTLAND TIPO IP	bol		2.200	27.40	60.28
101010009	FIBRA CELULOSA DE PAPEL BOND	kg		3.000	10.14	30.42
101010010	DIESEL B5 S-50	gln		4.000	21.49	85.96
						329.17
Equipos						
101010011	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.000	0.07	0.07
101010012	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125 HP 2.5 yd3	hm	1.0000	0.023	210.69	4.82
101010013	PLANTA DE ASFALTO DE 60-115 TON/H	hm	1.0000	0.023	376.69	8.61
101010014	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 Kw	hm	1.0000	0.023	201.03	4.59
						18.09

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 148

Análisis de Precios Unitarios de Mezcla Asfáltica S.M.A. Con GCR

PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFALTICA S.M.A. CON GCR						
Rendimiento tm/día		MO 350.0000	EQ 350.0000	C. U. directo por tm		451.15
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra						
101010001	CAPATAZ	hh	0.2000	0.005	30.08	0.14
101010002	OPERARIO	hh	2.0000	0.046	24.23	1.11
101010003	PEON	hh	3.0000	0.069	17.29	1.19
						2.44
Materiales						
101010003	ASFALTO PEN 85/100	gal		16.886	7.80	131.71
101010004	PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.015	60.00	0.91
101010005	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.211	60.00	12.68
101010006	ARENA FINA Y GRUESA	m3		0.057	80.00	4.53
101010007	CEMENTO PORTLAND TIPO IP	bol		2.200	27.40	60.28
101010008	FIBRA CELULOSA DE PAPEL BOND	kg		3.000	10.14	30.42
101010009	GRANO DE CAUCHO RECICLADO	kg		115.710	0.90	104.14
101010010	DIESEL B5 S-50	gln		4.000	21.49	85.96
						430.62
Equipos						
101010010	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.000	0.07	0.07
101010011	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125 HP 2.5 yd3	hm	1.0000	0.023	210.69	4.82
101010012	PLANTA DE ASFALTO DE 60-115 TON/H	hm	1.0000	0.023	376.69	8.61
101010014	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 Kw	hm	1.0000	0.023	201.03	4.59
						18.09

Fuente: Elaboración Propia

a) Análisis de la prueba

De acuerdo con los resultados del Análisis de Precios Unitarios, en ambos casos tanto para la mezcla S.M.A. Patrón como para la mezcla modificada, solo existe variación en los materiales.



Capítulo IV: Resultados

4.1. Control de Calidad de los Componentes de la Mezcla.

4.1.1. Control de calidad de agregado grueso.

a) *Tabla de resultados.*

Tabla 149

Resultados del Control de Calidad del Agregado Grueso

CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GRUESO				
ENSAYO	MÉTODO	AGREGADOS	RESULTADOS OBTENIDOS	REQUERIMIENTOS MINIMOS (EG-2013)
Durabilidad al Sulfato de Magnesio	MTC E 209	3/4" y 1/2"	1.70%	15% máx.
Abrasión de los Ángeles	MTC E 207	3/4" y 1/2"	19.78%	20% máx.
Adherencia	MTC E 517	3/4" y 1/2"	+95%	-
Indice de Durabilidad	MTC E 214	3/4" y 1/2"	95.97%	35% mín.
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 221	3/4"	14.03%	15% máx.
		1/2"	14.20%	15% máx.
Caras Fracturadas	MTC E 210	3/4"	98.24/90.19	100/90
		1/2"	98.13/95.72	100/90
Sales Solubles Totales	MTC E 219	3/4" y 1/2"	0.03%	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	3/4"	0.11%	1.0% máx.
		1/2"	0.18%	1.0% máx.

Nota. Esta tabla muestra los diferentes ensayos realizados en la investigación, en la columna método indica las normas para realizarlas, en la columna agregados indica el TMN de los agregados con los que se realizó, los resultados obtenidos se relacionan con los requerimientos mínimos del manual EG-2013.

Fuente: Elaboración Propia

b) *Análisis de resultados de la tabla.*

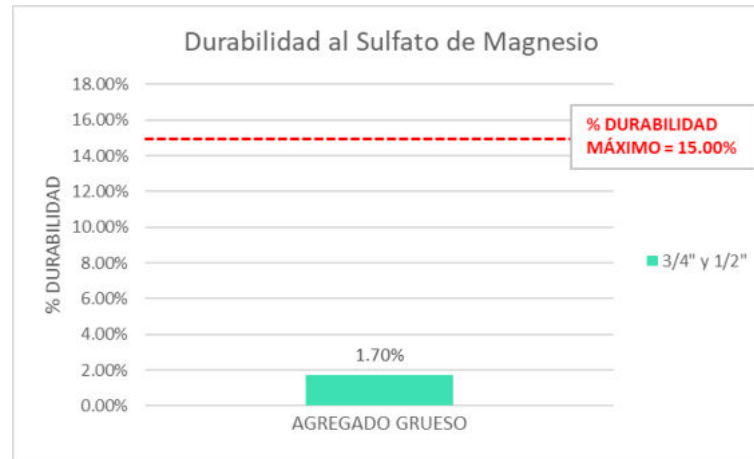
Las pruebas de calidad realizadas en laboratorio para los agregados gruesos (piedra chancada de 3/4" y 1/2") de la cantera de Vicho, arrojan valores que cumplen satisfactoriamente los requisitos instaurados en el Manual de Carreteras "Especificaciones técnicas generales para la construcción EG – 2013" (Sección 434-01). No obstante, en el caso particular de la prueba de caras fracturadas para una o más caras, el árido grueso de 1/2" y 3/4" da como resultado aceptable al aproximarse al requerimiento del manual.



c) Resultados y análisis de cada ensayo para control de calidad de agregados gruesos.

Figura 115

Resultado del Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio, en el eje vertical se muestra el % de Durabilidad, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado grueso, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Durabilidad máximo admitido.

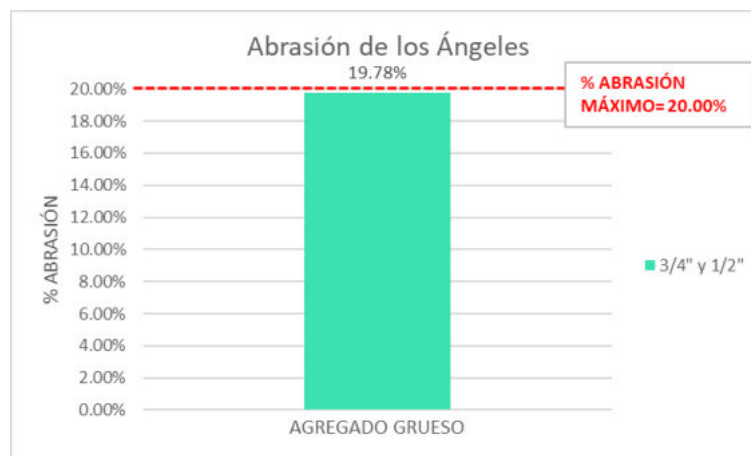
Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado grueso (3/4" y 1/2") llamado Durabilidad al Sulfato de Magnesio, arroja un valor de 1.70% de durabilidad, cumpliendo al no exceder el máximo de 15% establecido por el manual EG-2013.

Figura 116

Resultado del Ensayo de Abrasión Los Ángeles





Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Abrasión de los Ángeles, en el eje vertical se muestra el % de Abrasión, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado grueso, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Abrasión máximo admitido.

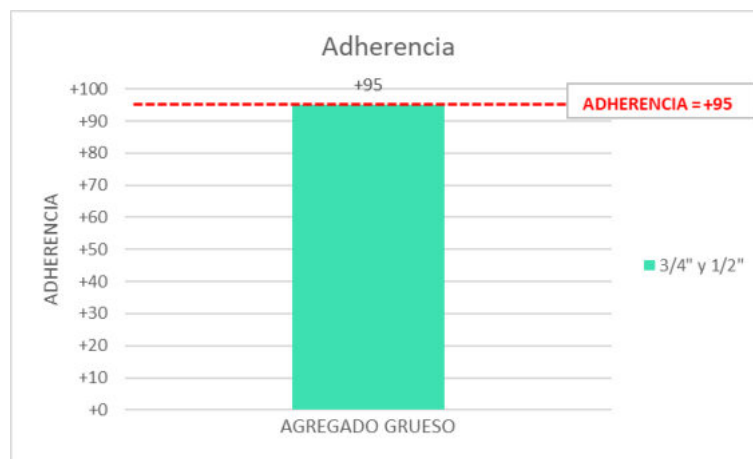
Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado grueso ($\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ "") llamado Abrasión de los Ángeles, arroja un valor de 19.78% de desgaste, cumpliendo al no exceder el máximo de 20% establecido por el manual EG-2013.

Figura 117

Resultado del Ensayo de Adherencia



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Adherencia, en el eje vertical se muestra los valores de Adherencia de +0 a +100, la barra verde indica el valor alcanzado en este ensayo por el agregado grueso, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el valor de Adherencia admitido.

Fuente: Elaboración Propia

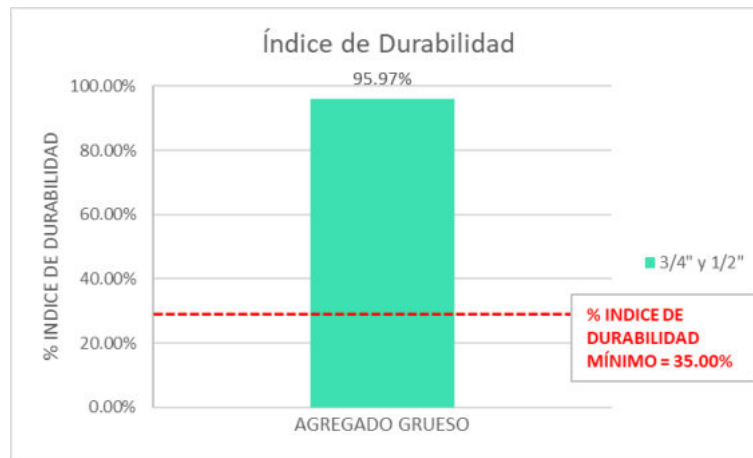
Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado grueso ($\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ "") llamado Adherencia, arroja un valor de +95 (recubrimiento del árido), cumpliendo el mínimo de +95 para altitudes de ≤ 3000 m.s.n.m establecido por el manual EG-2013.



Figura 118

Resultado del Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Índice de Durabilidad, en el eje vertical se muestra el % Índice de Durabilidad, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado grueso, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Índice de Durabilidad mínimo admitido.

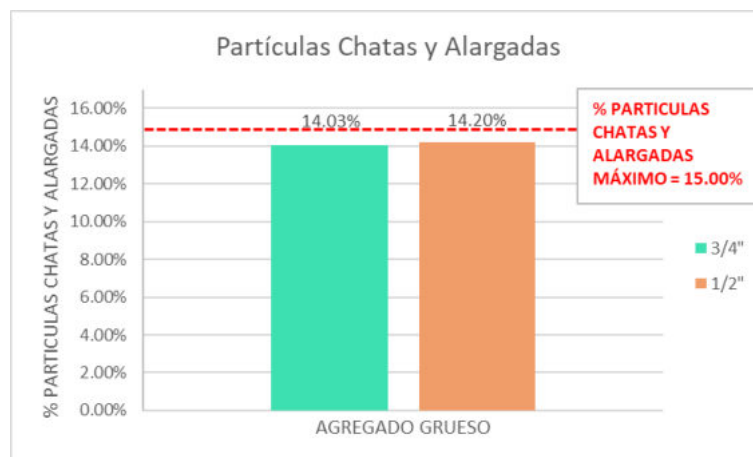
Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado grueso (3/4" y 1/2") llamado Índice de Durabilidad, arroja un valor de 95.97% de durabilidad, cumpliendo al exceder el mínimo de 35% establecido por el manual EG-2013.

Figura 119

Resultado del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Partículas Chatas y Alargadas, en el eje vertical se muestra el % Partículas Chatas y Alargadas, la barra verde indica el porcentaje



alcanzado en este ensayo por el agregado grueso de $\frac{3}{4}$ " y la barra naranja para el agregado de $\frac{1}{2}$ ", así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Partículas chatas y alargadas máximo admitido.

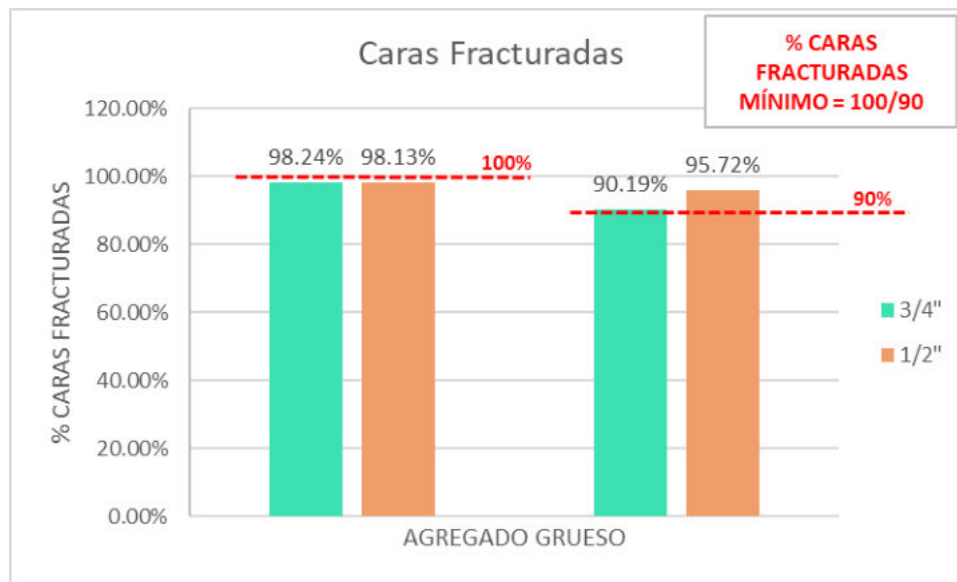
Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado grueso $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " llamado Partículas Chatas y Alargadas, arroja un valor de 14.03% y 14.20% respectivamente, cumpliendo al no exceder el máximo de 15% establecido por el manual EG-2013.

Figura 120

Resultado del Ensayo de Caras Fracturadas



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Caras Fracturadas, en el eje vertical se muestra el % Caras Fracturadas, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado grueso de $\frac{3}{4}$ " y la barra naranja para el agregado de $\frac{1}{2}$ " (en el lado izquierdo para una cara fracturada y en el lado derecho para dos caras fracturadas), así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Caras Fracturadas mínimo admitido.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado grueso $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " llamado Caras Fracturadas, arroja un valor de 98.24 y 98.13 respectivamente para una cara fracturada, no cumpliendo al no exceder el mínimo de 100% requerido, pero se toma como valor aceptable; para dos caras fracturadas o más es de 90.1% y 95.72% respectivamente, el cual cumple al exceder el mínimo de 90% establecido por el manual EG-2013.



Figura 121

Resultado del Ensayo de Sales Solubles Totales



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Sales Solubles Totales, en el eje vertical se muestra el % Sales Solubles Totales, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado grueso, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Sales Solubles Totales máximo admitido.

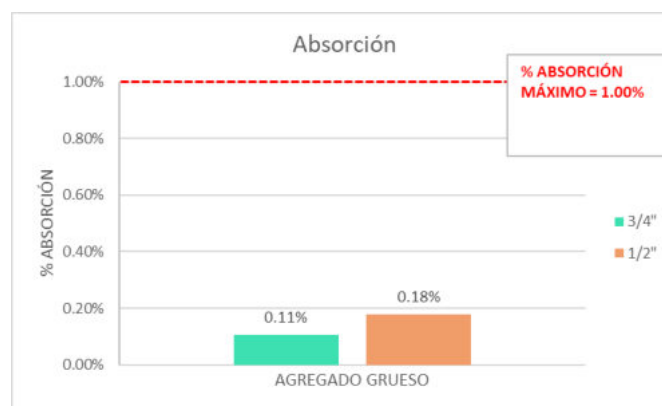
Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado grueso ($\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ") llamado Sales Solubles Totales, arroja un valor de 0.03%, cumpliendo al no exceder el máximo de 0.50% establecido por el manual EG-2013.

Figura 122

Resultado de Ensayo de Absorción



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Absorción, en el eje vertical se muestra el % Absorción, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado grueso de $\frac{3}{4}$ " y la barra naranja para el agregado de $\frac{1}{2}$ ", así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Absorción máximo admitido.

Fuente: Elaboración Propia



Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado grueso $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " llamado Absorción, arroja un valor de 0.11% y 0.18% respectivamente, cumpliendo al no exceder el máximo de 1.00% establecido por el manual EG-2013.

4.1.2. Control de calidad de agregado fino.

a) *Tabla de resultados.*

Tabla 150

Resultados del Control de Calidad del Agregado Fino

CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO				
ENSAYO	MÉTODO	AGREGADOS	RESULTADOS OBTENIDOS	REQUERIMIENTOS MINIMOS (EG-2013)
Equivalente de Arena	MTC E 114	Arena triturada y Arena de rio	95.42%	70% mín.
Angularidad de agregado fino	MTC E 222		42.72%	40% mín
Azul de metileno	AASTHO TP 57		6.50%	8% máx.
Durabilidad al Sulfato de Magnesio	MTC E 209		3.30%	15% máx
Índice de Durabilidad	MTC E 214		98.57%	35% mín.
Índice de Plasticidad	MTC E 111		N.P.	N.P.
Sales Solubles Totales	MTC E 219		0.04%	0.5% máx.
Absorción	MTC E 205		3.52%	0.5% máx.

Nota. Esta tabla muestra los diferentes ensayos realizados en la investigación, en la columna método indica las normas para realizarlas, en la columna agregados indica los áridos con los que se realizó, los resultados obtenidos se relacionan con los requerimientos mínimos del manual EG-2013.

Fuente: Elaboración Propia

b) *Análisis de tabla de resultados.*

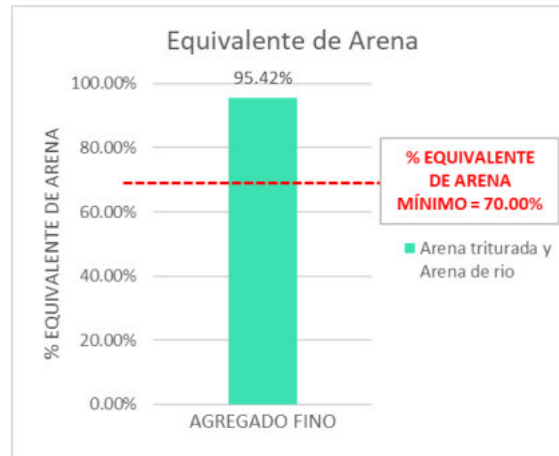
Las pruebas de calidad realizadas en laboratorio para los áridos finos (arena triturada y arena de rio) de la cantera de Vicho y Cunyac, arrojan valores que cumplen satisfactoriamente los requisitos instaurados en el Manual de Carreteras “Especificaciones técnicas generales para la construcción EG – 2013” (Sección 434-01). No obstante, en el caso particular de la prueba de absorción, el árido fino da como resultado aceptable al aproximarse al requerimiento del manual.



c) Resultados y análisis de cada ensayo para control de calidad de agregados finos.

Figura 123

Resultado del Ensayo Estándar para Valor de Equivalente de Arena



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Equivalente de Arena, en el eje vertical se muestra el % Equivalente de Arena, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado fino, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Equivalente de Arena máximo admitido.

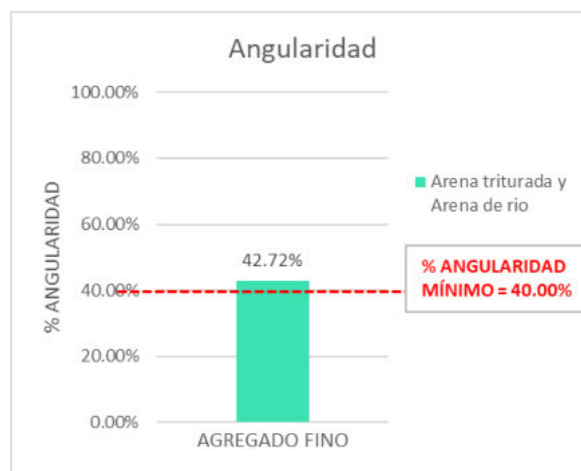
Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado fino (arena triturada y arena de rio) llamado Equivalente de Arena, arroja un valor de 95.42%, cumpliendo al exceder el mínimo de 0.70% establecido por el manual EG-2013.

Figura 124

Resultado del Ensayo de Angularidad





Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Angularidad, en el eje vertical se muestra el % Angularidad, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado fino, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Angularidad mínimo admitido.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado fino (arena triturada y arena de rio) llamado Angularidad, arroja un valor de 42.72%, cumpliendo al exceder el mínimo de 40.00% establecido por el manual EG-2013.

Figura 125

Resultado del Ensayo de Azul de Metileno



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Azul de Metileno, en el eje vertical se muestra el % Azul de Metileno, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado fino, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Azul de Metileno máximo admitido.

Fuente: Elaboración Propia

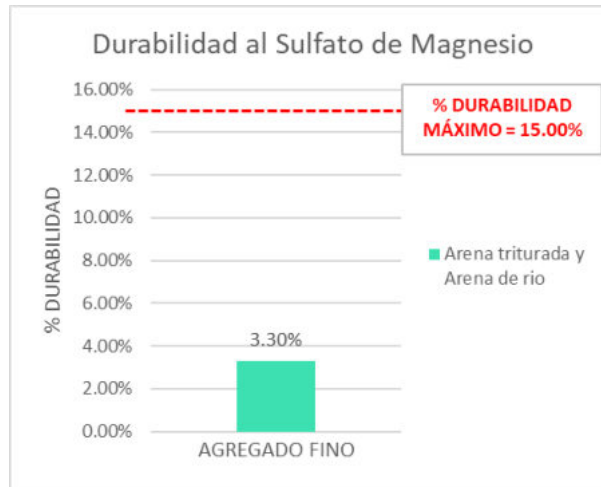
Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado fino (arena triturada y arena de rio) llamado Azul de Metileno, arroja un valor de 6.50%, cumpliendo al no exceder el máximo de 8.00% establecido por el manual EG-2013.



Figura 126

Resultado del Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio, en el eje vertical se muestra el % Durabilidad, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado fino, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Durabilidad máximo admitido.

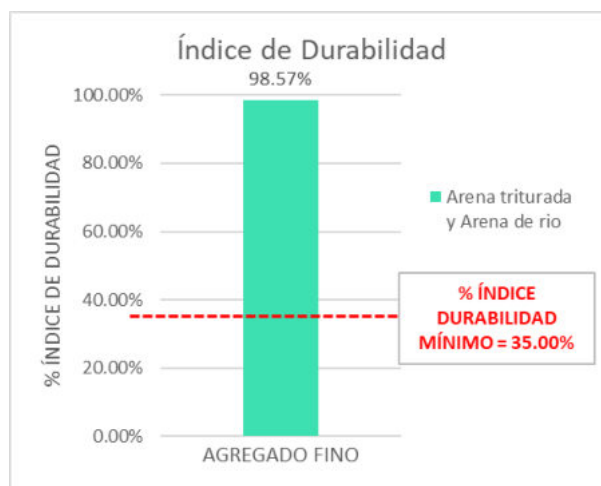
Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado fino (arena triturada y arena de rio) llamado Durabilidad al Sulfato de Magnesio, arroja un valor de 3.30% de durabilidad, cumpliendo al no exceder el máximo de 15.00% establecido por el manual EG-2013.

Figura 127

Resultado del Ensayo Estándar para Índice de Durabilidad





Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Índice de Durabilidad, en el eje vertical se muestra el % Índice de Durabilidad, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado fino, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Índice de Durabilidad mínimo admitido.

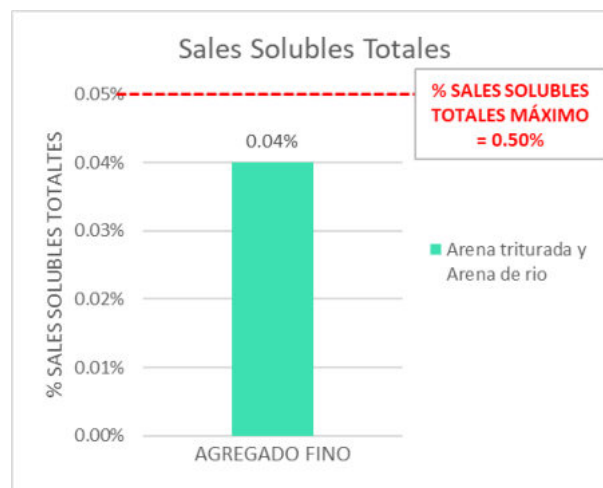
Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado fino (arena triturada y arena de rio) llamado Índice Durabilidad, arroja un valor de 98.57% de durabilidad, cumpliendo al exceder el mínimo de 35.00% establecido por el manual EG-2013.

Figura 128

Resultado del Ensayo de Sales Solubles Totales



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Sales Solubles Totales, en el eje vertical se muestra el % Sales Solubles Totales, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado fino, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Sales Solubles Totales máximo admitido.

Fuente: Elaboración Propia

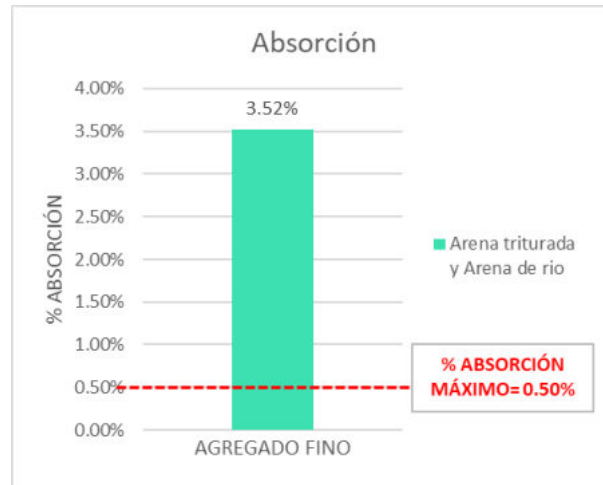
Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado fino (arena triturada y arena de rio) llamado Sales Solubles Totales, arroja un valor de 0.04%, cumpliendo al no exceder el máximo de 0.50% establecido por el manual EG-2013, tomándose como valor aceptable.



Figura 129

Resultado del Ensayo de Absorción



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Absorción, en el eje vertical se muestra el % Absorción, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por el agregado fino, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Absorción máximo admitido.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis

Según el ensayo de calidad del agregado fino (arena triturada y arena de rio) llamado Absorción, arroja un valor de 3.52%, no cumpliendo al exceder el máximo de 0.50% establecido por el manual EG-2013, tomándose como valor aceptable.



4.2. Control de Calidad de las Mezclas Asfálticas S.M.A.

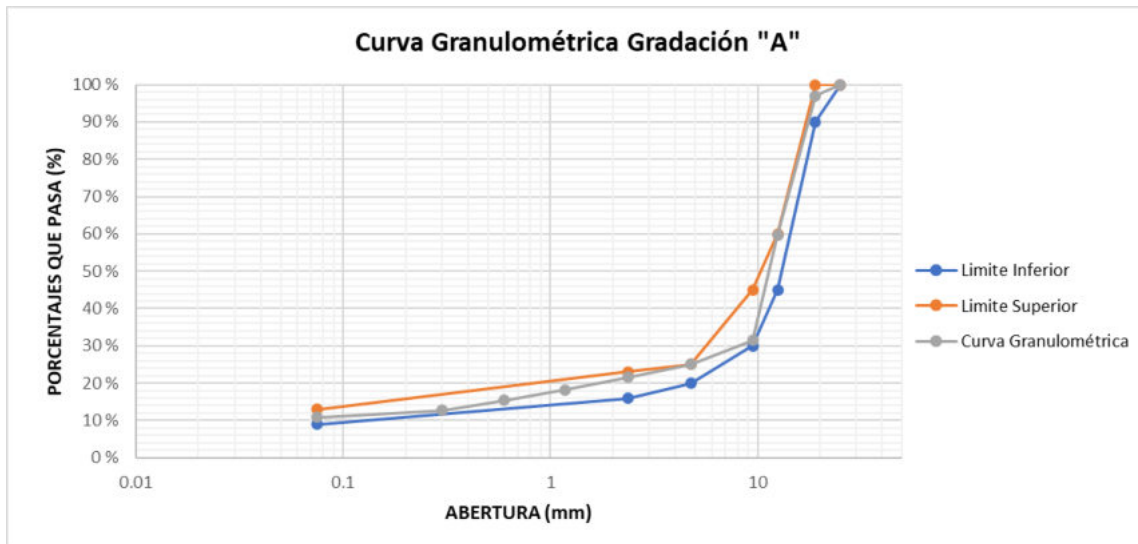
4.2.1. Diseño S.M.A.

4.2.1.1. Gradación óptima.

a) Resultado de gradación óptima.

Figura 130

Curva de la Combinación Granulométrica Óptima



Nota. Esta figura muestra diagrama semilogarítmico de la curva granulométrica de la Gradación “A”, en el eje vertical se muestra los porcentajes pasantes mientras que en el eje horizontal la abertura de los tamices, la línea gris representa la curva que describe la granulometría de la gradación “A”, la cual está limitada por un límite inferior (línea azul) y un límite superior (línea naranja).

Fuente: Elaboración Propia

b) Análisis de resultado.

Para la elección de combinación granulométrica óptima se opta por la Gradación “A”, debido a que su curva granulométrica se establece dentro de los límites para un diseño S.M.A. con un Tamaño Máximo Nominal de $\frac{3}{4}$ ”, obedeciendo además las siguientes condiciones: $VCA_{MEZCLA} < VCA_{DRC}$, $\%VMA \geq 17\%$, $\%Va \sim 4$. (Ver Tabla 125)

MUESTRAS	Va (%)		VMA (%)		Comparación		
	OBTENIDO	REQUERIDO	OBTENIDO	MÍN.	VCA mezcla	VCA drc	VCA mezcla < VCA drc
GRADACIÓN "A"	4.385	4	17.139	17	37.689	45.809	OK

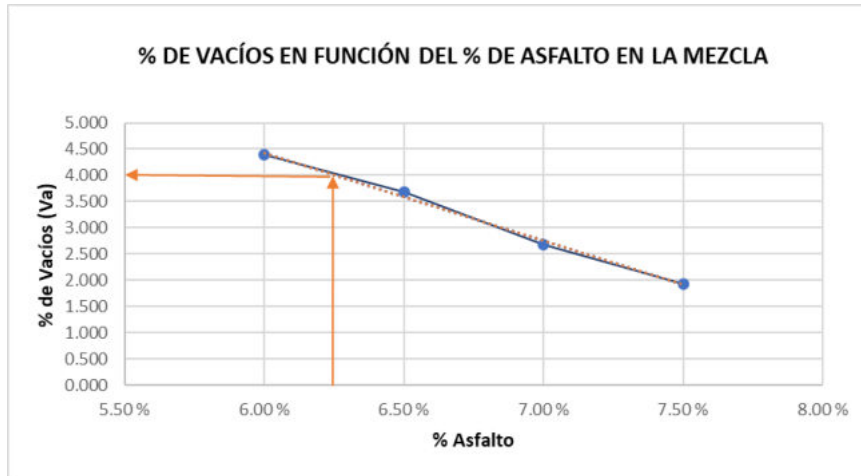


4.2.1.2. Contenido de asfalto óptimo.

a) Resultados del contenido de asfalto óptimo.

Figura 131

% de Vacíos en Función del % de Ligante en Mezcla



Nota. Esta figura muestra una gráfica de línea de tendencia de % de Vacíos en función del % de Asfalto en la mezcla, en el eje vertical se muestra los % de Vacíos mientras que en el eje horizontal el % Asfalto, los puntos azules resultado de ensayos describen la línea de tendencia para hallar el % de Asfalto Óptimo para un determinado % de Vacíos.

Fuente: Elaboración Propia

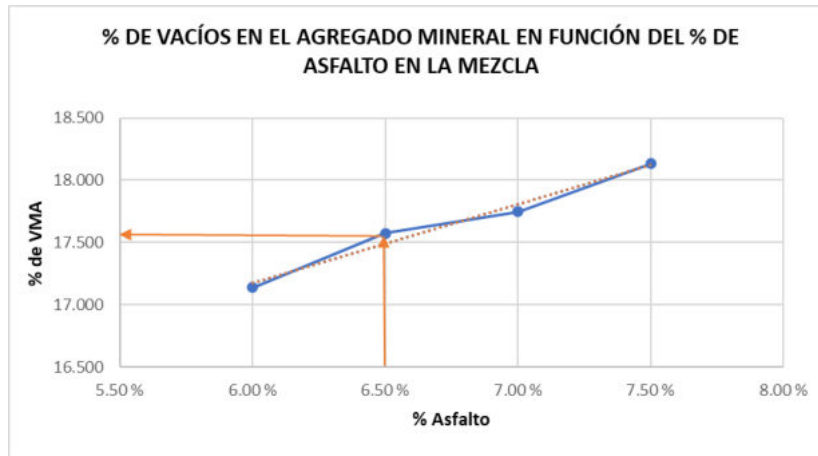
Análisis de resultados

Utilizando la combinación granulométrica óptima Gradación “A”, se procedió a la elección de contenido óptimo de ligante, evaluando diferentes proporciones de asfalto a 6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5%, para posteriormente determinar a través de la ecuación generada por la línea de tendencia la proporción de asfalto para un contenido de vacíos de 4%, siendo el valor de 6.26% de ligante obtenido, debido a la facilidad de cómputo se utilizó 6.5% además de ser el mínimo requerido por el manual EG-2013.



Figura 132

% de Vacíos en el Agregado Mineral en Función del % de Ligante en Mezcla



Nota. Esta figura muestra una gráfica de línea de tendencia de % de Vacíos en el agregado mineral en función del % de Asfalto en la mezcla, en el eje vertical se muestra los % de Vacíos en el agregado mineral mientras que en el eje horizontal el % Asfalto, los puntos azules resultado de ensayos describen la línea de tendencia para hallar el % de Vacíos en el agregado mineral para un % de Asfalto Óptimo.

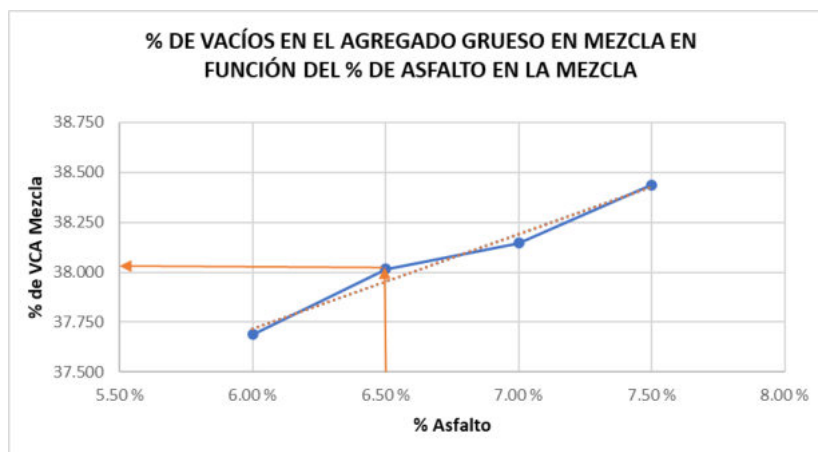
Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

Utilizando la combinación granulométrica óptima Gradación “A”, se procedió a la elección de contenido óptimo de ligante, evaluando diferentes proporciones de asfalto a 6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5%, para posteriormente determinar a través de una línea de tendencia el valor de %VMA correspondiente al contenido óptimo de ligante de 6.5%, donde se confirma que el valor de 17.573% obtenido es mayor al 17% de VMA requerido.

Figura 133

% de Vacíos de Agregado Grueso en Mezcla en Función del % de Ligante en Mezcla





Nota. Esta figura muestra una gráfica de línea de tendencia de % de Vacíos en el agregado grueso en mezcla en función del % de Asfalto en la mezcla, en el eje vertical se muestra los % de Vacíos en el agregado grueso en mezcla mientras que en el eje horizontal el % Asfalto, los puntos azules resultado de ensayos describen la línea de tendencia para hallar el % de Vacíos en agregado grueso en mezcla para un % de Asfalto Optimo.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

Utilizando la combinación granulométrica optima Gradación “A”, se procedió a la elección de contenido óptimo de ligante, evaluando diferentes proporciones de asfalto a 6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5%, para posteriormente determinar a través de una línea de tendencia el valor de VCA_{MEZCLA} correspondiente al contenido óptimo de ligante de 6.5%, donde se confirma que el valor de 38.016% obtenido es menor al 45.809% de VCA_{DRC} .

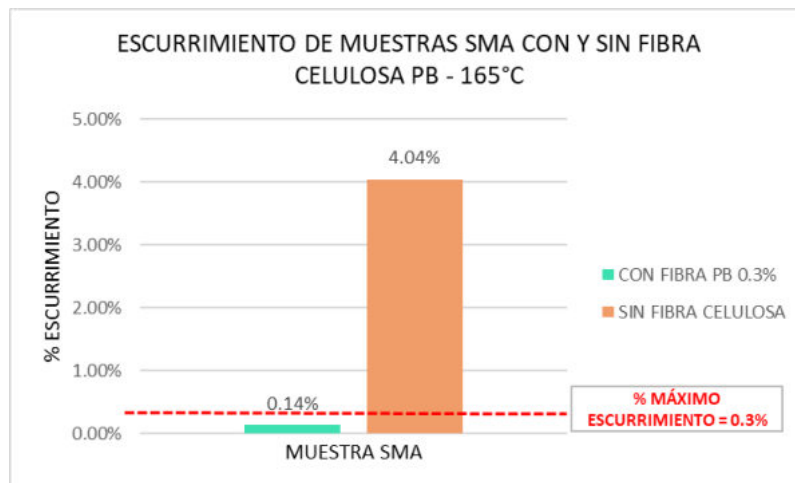
4.2.2. Propiedades físico – mecánicas.

4.2.2.1. Esgurrimiento.

a) *Resultado de esgurrimiento.*

Figura 134

Esgurrimiento de Muestras S.M.A. Con y Sin Fibra Celulosa PB - 165°C



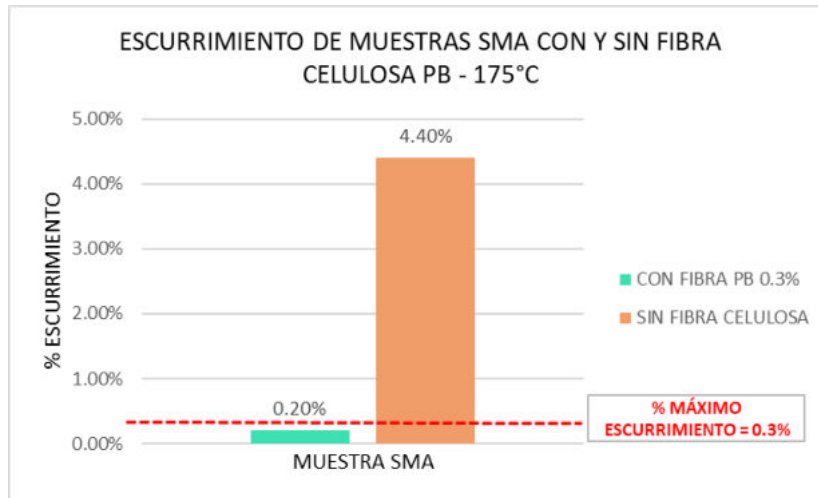
Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Esgurrimiento de muestras S.M.A con y sin Fibra Celulosa de Papel Bond a 165°C, en el eje vertical se muestra el % Esgurrimiento, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por la muestra con fibra al 0.30% y la barra naranja para la muestra sin fibra, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Esgurrimiento Máximo admitido.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 135

Escurrecimiento de Muestras S.M.A. Con y Sin Fibra Celulosa PB - 175°C



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Escurrecimiento de muestras S.M.A con y sin Fibra Celulosa de Papel Bond a 175°C, en el eje vertical se muestra el % Escurrecimiento, la barra verde indica el porcentaje alcanzado en este ensayo por la muestra con fibra al 0.30% y la barra naranja para la muestra sin fibra, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Escurrecimiento Máximo admitido.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

De acuerdo con la prueba de Escurrecimiento, donde se evaluó muestras a temperaturas de planta (165°C y 175°C) sin y con fibra celulosa de papel bond (al 0.3%), este último tipo de muestra presento un escurrecimiento de 0.14% y 0.20% obedeciendo el máximo de 0.30% establecido por la norma NAPA 2002, no obstante, el primer tipo presenta 4.04% y 4.40% respectivamente, no siendo suficiente a lo requerido.

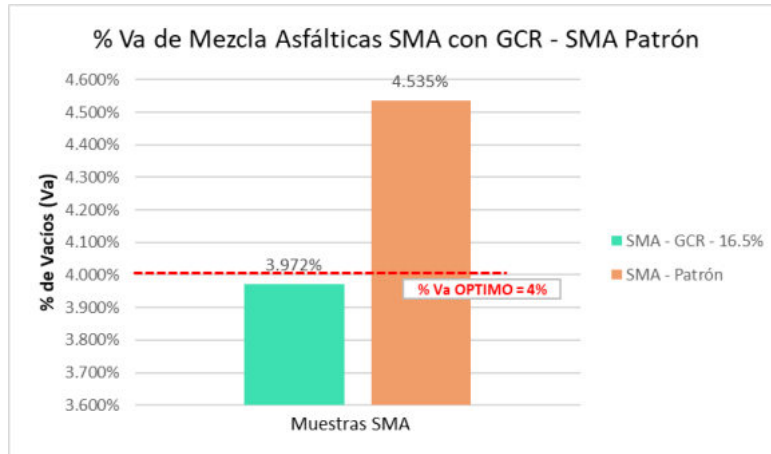


4.2.2.2. Parámetros volumétricos.

a) Resultado de parámetros volumétricos.

Figura 136

% Va de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del % Vacíos de Mezclas Asfálticas S.M.A. con GCR y S.M.A. Patrón, en el eje vertical se muestra el % Vacíos, la barra verde indica el porcentaje alcanzado por la muestra con GCR Optimo y la barra naranja para la muestra Patrón, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Vacíos Optimo.

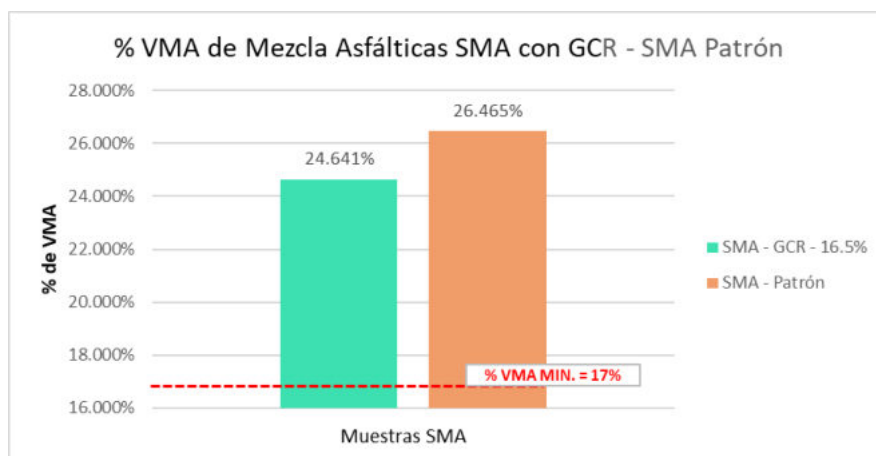
Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

El porcentaje de vacíos (%Va) que presentan la mezcla asfáltica S.M.A. añadida con contenido óptimo de GCR y la mezcla asfáltica S.M.A. Patrón son 3.972% y 4.535% respectivamente, estos valores se aproximan al %Va óptimo requerido de 4%.

Figura 137

% VMA de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón





Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del % Vacíos en el agregado mineral de Mezclas Asfálticas S.M.A. con GCR y S.M.A. Patrón, en el eje vertical se muestra el % Vacíos en el agregado mineral, la barra verde indica el porcentaje alcanzado por la muestra con GCR Optimo y la barra naranja para la muestra Patrón, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Vacíos en el agregado mineral mínimo admitido.

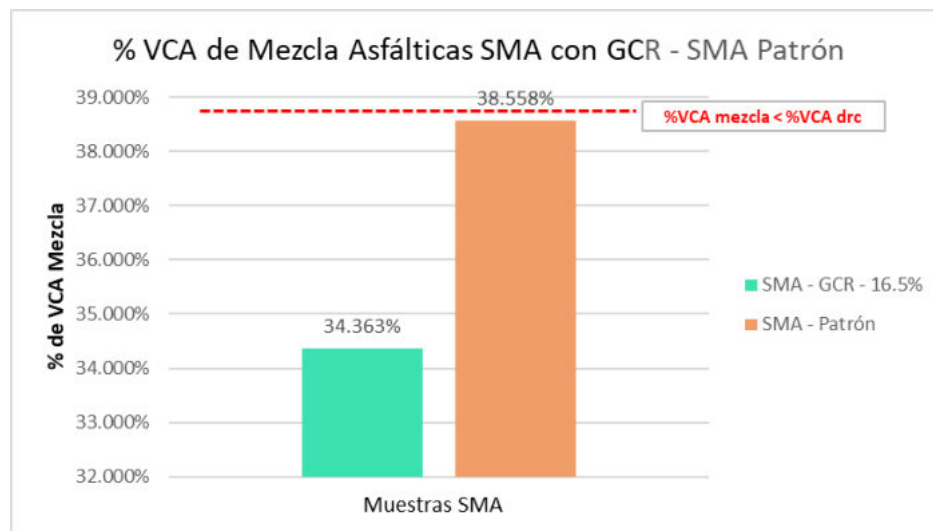
Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

Los vacíos en el agregado mineral (%VMA) que presentan la mezcla asfáltica S.M.A. añadida con contenido óptimo de GCR y la mezcla asfáltica S.M.A. Patrón son 24.641% y 24.465% respectivamente, estos valores superan el VMA mínimo requerido de 17%.

Figura 138

% VCA de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del % Vacíos de agregado grueso en mezcla de Mezclas Asfálticas S.M.A. con GCR y S.M.A. Patrón, en el eje vertical se muestra el % Vacíos de agregado grueso en mezcla, la barra verde indica el porcentaje alcanzado por la muestra con GCR Optimo y la barra naranja para la muestra Patrón, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala el % Vacíos de agregado grueso en mezcla debe ser menor al % de Vacíos de agregado grueso en la condición seco-rodillado.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

Los vacíos de agregado grueso en la mezcla (%VCA_{MEZCLA}) que presentan la mezcla asfáltica S.M.A. añadida con contenido óptimo de GCR y la mezcla asfáltica S.M.A. Patrón son



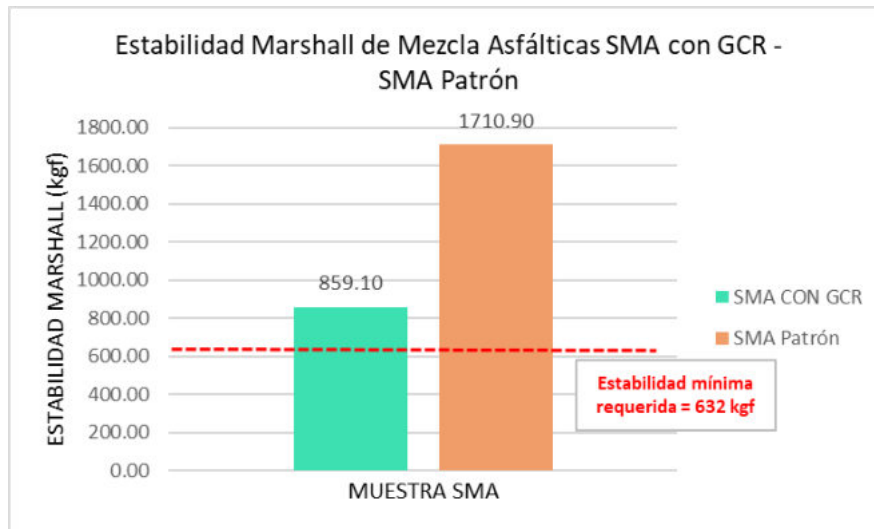
34.363% y 38.558% respectivamente, estos valores cumplen la condición $VCA_{MEZCLA} < VCA_{DRC}$.

4.2.2.3. Estabilidad y flujo Marshall.

a) Resultado de estabilidad y flujo Marshall.

Figura 139

Estabilidad Marshall de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Estabilidad Marshall de Mezclas Asfálticas S.M.A. con GCR y S.M.A. Patrón, en el eje vertical se muestran los valores de Estabilidad Marshall, la barra verde indica el valor alcanzado por la muestra con GCR Optimo y la barra naranja para la muestra Patrón, así también se muestra una línea punteada horizontal la cual señala la Estabilidad mínima admitida.

Fuente: Elaboración Propia

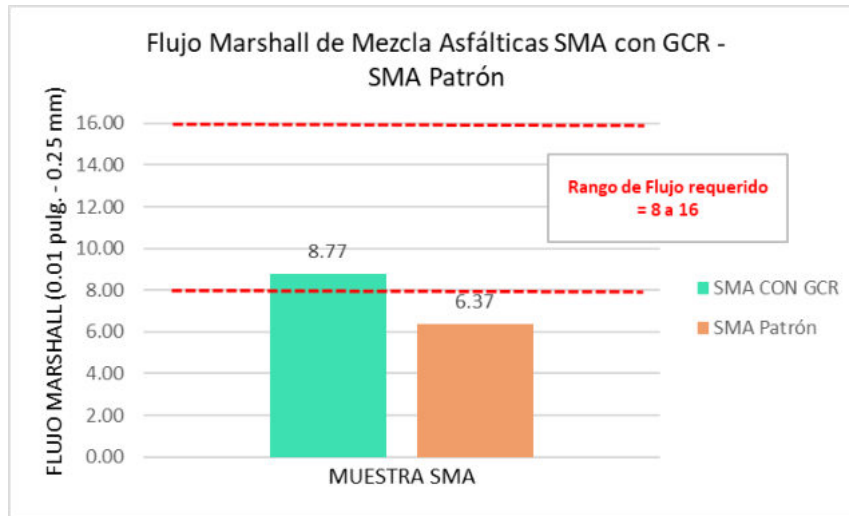
Análisis de resultados

De acuerdo con la prueba de Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica S.M.A. añadida con contenido óptimo de GCR y la mezcla asfáltica S.M.A. Patrón tienen como resultado 859.10 kgf y 1710.90 kgf respectivamente, estos valores obedecen al mínimo requerido de 632 kgf que establece la norma NAPA 2002.



Figura 140

Flujo Marshall de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Flujo Marshall de Mezclas Asfálticas S.M.A. con GCR y S.M.A. Patrón, en el eje vertical se muestran los valores de Flujo Marshall, la barra verde indica el valor alcanzado por la muestra con GCR Optimo y la barra naranja para la muestra Patrón, así también se muestra dos líneas punteadas horizontales las cuales señalan el rango de Flujo admitido.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

De acuerdo con la prueba de Flujo Marshall de la mezcla asfáltica S.M.A. añadida con contenido óptimo de GCR y la mezcla asfáltica S.M.A. Patrón tienen como resultado 8.77 y 6.37 respectivamente, el primer valor obedece mas no el ultimo al rango requerido de 8 - 16 que establece la norma NAPA 2002.

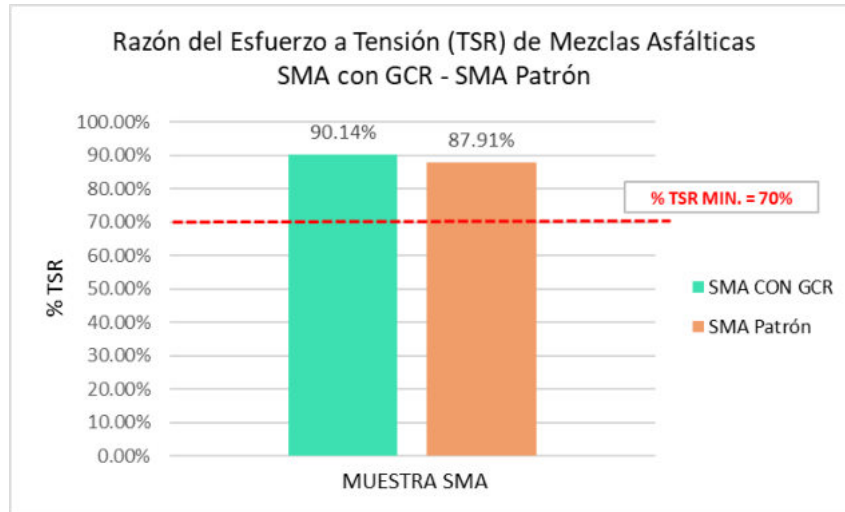


4.2.2.4. Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad.

a) Resultados de resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad.

Figura 141

Razón del Esfuerzo a Tensión (TSR) de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Razón del Esfuerzo a Tensión de Mezclas Asfálticas S.M.A. con GCR y S.M.A. Patrón, en el eje vertical se muestran los valores de % TSR, la barra verde indica el valor alcanzado por la muestra con GCR Optimo y la barra naranja para la muestra Patrón, así también se muestra una línea punteada horizontal las cual señalan el % TSR mínimo admitido.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

De acuerdo con la prueba de Daño Inducido por Humedad de la mezcla asfáltica S.M.A. añadida con contenido óptimo de GCR y la mezcla asfáltica S.M.A. Patrón tienen como resultado 90.14% y 87.71% de % Razón del Esfuerzo a Tensión (%TSR) respectivamente, estos valores obedecen al mínimo requerido de 70% que establece la norma NAPA 2002.

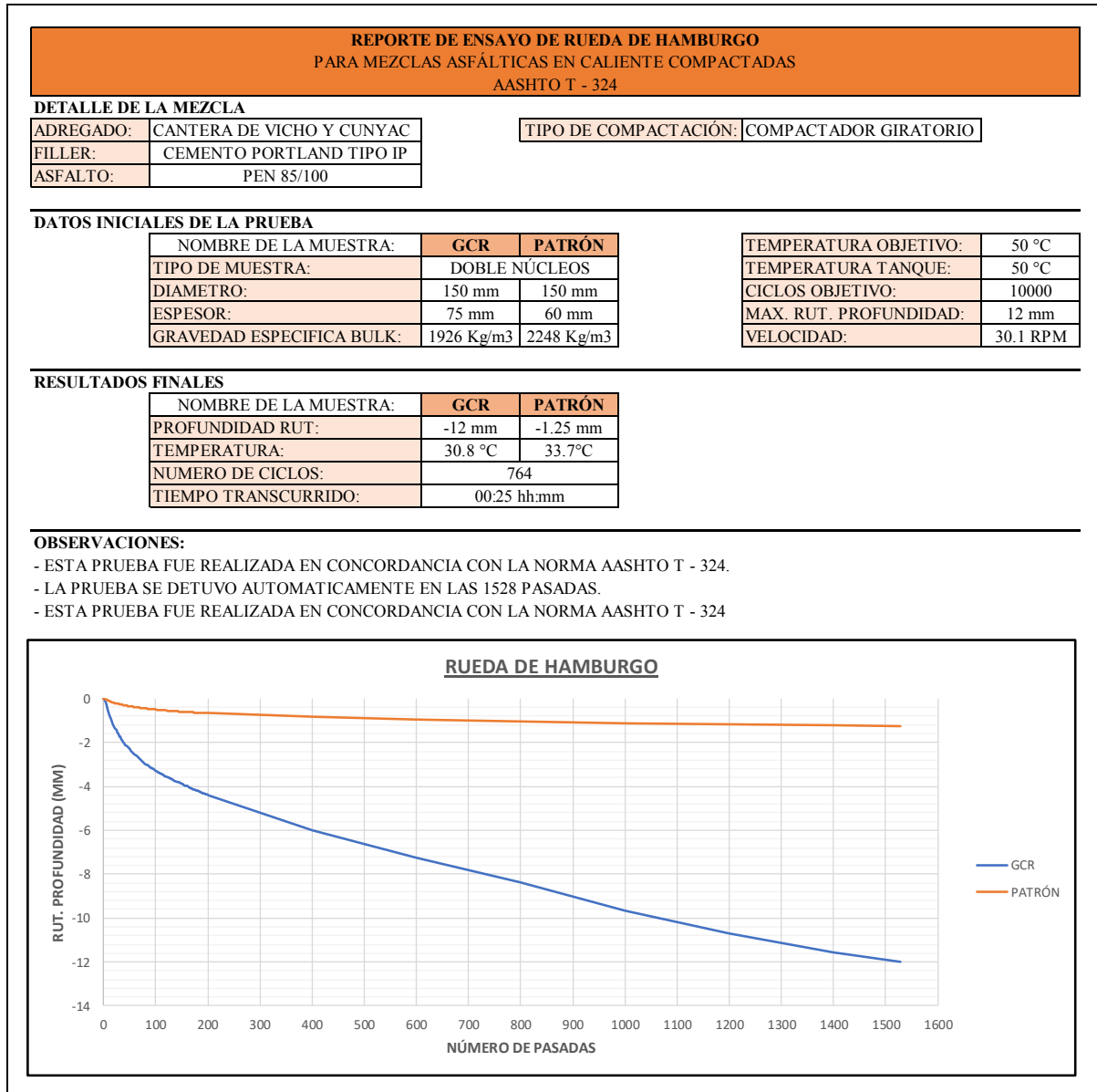


4.2.2.5. Rueda cargada de hamburgo

a) Resultados de rueda cargada de Hamburgo

Tabla 151

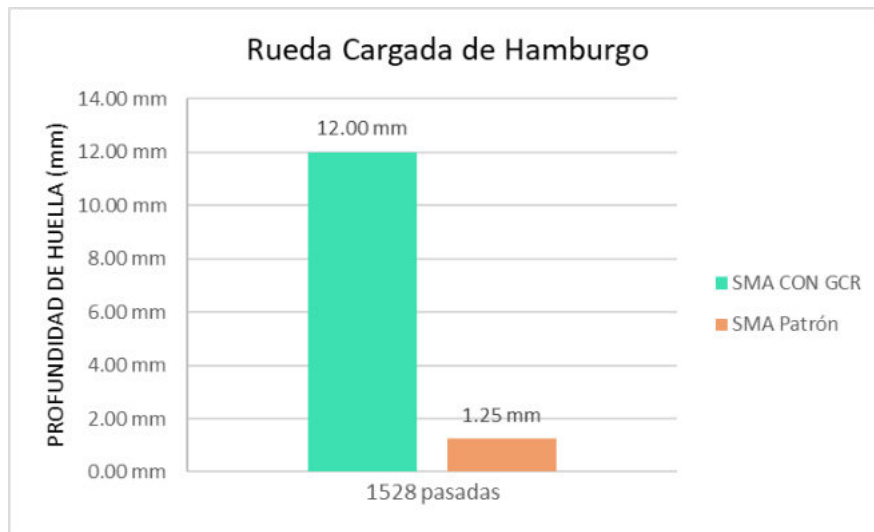
Reporte de Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 142

Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo de Mezclas Asfálticas S.M.A. con GCR y S.M.A. Patrón, en el eje vertical se muestran los valores de profundidad de huella, la barra verde indica el valor alcanzado por la muestra con GCR Optimo y la barra naranja para la muestra Patrón, así también se muestra en el eje horizontal el número de pasadas para ambas muestras.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

De acuerdo con la prueba de Rueda Cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica S.M.A. añadida con contenido óptimo de GCR y la mezcla asfáltica S.M.A. Patrón tienen como resultado 12.00 mm y 1.25 mm de deformación permanente para 1528 pasadas, estos valores no obedecen al mínimo requerido de 20000 pasadas predispuesto en la norma AASHTO T 324.

Tabla 152

Propiedades Físico-Mecánicas de Mezclas Asfálticas S.M.A. Con GCR – S.M.A. Patrón

ENSAYO	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS OBTENIDOS				REQUERIMIENTOS MINIMOS
			CON FIBRA PB 0.3%	SIN FIBRA CELULOSA	CON FIBRA PB 0.3%		
					CON GCR	SIN GCR	
Escurecimiento	ASTM D 6390	165 °C	0.14%	4.04%			0.3% máx.
		175 °C	0.20%	4.40%			0.3% máx.
Parámetros Volumétricos	AASHTO T 166	%VA			3.972 %	4.535 %	%Va Opt. = 4%
		%VMA			24.641 %	26.465 %	%VMA Min. =17%
		%VCA mezcla			34.363 %	38.558 %	%VCA mezcla < %VCA drc
		%VCA drc			38.491 %	45.500 %	
Estabilidad y Flujo Marshall	MTC E 504	Estabilidad (N)			859.10	1710.90	632 kgf min.
		Flujo			8.77	6.37	8 - 16
Susceptibilidad a la Humedad	MTC E 522	%TSR			90.14%	87.91%	70% min.
Rueda Cargada de Hamburgo	AASHTO T 324	Deformación Permanente			1528 pasadas		20000 pasadas
					12.00	1.25	12.5 mm max.



Nota. Esta tabla muestra los diferentes ensayos realizados en la investigación, en la columna método indica las normas para realizarlas, en la columna especificación indica los valores o condiciones de los ensayos, los resultados obtenidos se relacionan con los requerimientos mínimos del manual EG-2013 y NAPA 2002.

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Análisis de Costos de Mezclas Asfálticas S.M.A. Patrón - S.M.A. Con GCR.

Tabla 153

Análisis de Precios Unitarios de Mezcla Asfáltica S.M.A. Patrón

PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFALTICA S.M.A. PATRÓN						
Rendimiento tm/día		MO 350.0000	EQ 350.0000	C. U. directo por tm		349.70
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra						
101010001	CAPATAZ	hh	0.2000	0.005	30.08	0.14
101010002	OPERARIO	hh	2.0000	0.046	24.23	1.11
101010003	PEON	hh	3.0000	0.069	17.29	1.19
						2.44
Materiales						
101010004	ASFALTO PEN 85/100	gal		16.886	7.80	131.71
101010005	PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.018	60.00	1.08
101010006	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.253	60.00	15.19
101010007	ARENA FINA Y GRUESA	m3		0.057	80.00	4.53
101010008	CEMENTO PORTLAND TIPO IP	bol		2.200	27.40	60.28
101010009	FIBRA CELULOSA DE PAPEL BOND	kg		3.000	10.14	30.42
101010010	DIESEL B5 S-50	gln		4.000	21.49	85.96
						329.17
Equipos						
101010011	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.000	0.07	0.07
101010012	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125 HP 2.5 yd3	hm	1.0000	0.023	210.69	4.82
101010013	PLANTA DE ASFALTO DE 60-115 TON/H	hm	1.0000	0.023	376.69	8.61
101010014	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 Kw	hm	1.0000	0.023	201.03	4.59
						18.09

Nota. Esta tabla muestra el análisis de precios unitarios para una mezcla S.M.A. Patrón, en la cual se observan los recursos, unidad, cuadrilla, cantidad, precio, rendimiento, y el costo unitario por tonelada métrica para la partida.

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 154

Análisis de Precios Unitarios de Mezcla Asfáltica S.M.A. Con GCR

PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFALTICA S.M.A. CON GCR						
Rendimiento tm/día		MO 350.0000	EQ 350.0000		C. U. directo por tm	451.15
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	Mano de Obra					
101010001	CAPATAZ	hh	0.2000	0.005	30.08	0.14
101010002	OPERARIO	hh	2.0000	0.046	24.23	1.11
101010003	PEON	hh	3.0000	0.069	17.29	1.19
						2.44
	Materiales					
101010003	ASFALTO PEN 85/100	gal		16.886	7.80	131.71
101010004	PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.015	60.00	0.91
101010005	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.211	60.00	12.68
101010006	ARENA FINA Y GRUESA	m3		0.057	80.00	4.53
101010007	CEMENTO PORTLAND TIPO IP	bol		2.200	27.40	60.28
101010008	FIBRA CELULOSA DE PAPEL BOND	kg		3.000	10.14	30.42
101010009	GRANO DE CAUCHO RECICLADO	kg		115.710	0.90	104.14
101010010	DIESEL B5 S-50	gln		4.000	21.49	85.96
						430.62
	Equipos					
101010010	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.000	0.07	0.07
101010011	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125 HP 2.5 yd3	hm	1.0000	0.023	210.69	4.82
101010012	PLANTA DE ASFALTO DE 60-115 TON/H	hm	1.0000	0.023	376.69	8.61
101010014	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 Kw	hm	1.0000	0.023	201.03	4.59
						18.09

Nota. Esta tabla muestra el análisis de precios unitarios para una mezcla S.M.A. con GCR, en la cual se observan los recursos, unidad, cuadrilla, cantidad, precio, rendimiento, y el costo unitario por tonelada métrica para la partida.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 155

Resumen de Análisis de Costos de Mezclas Asfálticas S.M.A. Patrón - S.M.A. Con GCR

RECURSOS	S.M.A. PATRÓN	S.M.A. CON GCR
Mano de Obra	S/. 2.44	S/. 2.44
Materiales	S/. 329.17	S/. 430.62
Equipos	S/. 18.09	S/. 18.09
Costo Unitario directo por Tm	S/. 349.70	S/. 451.15

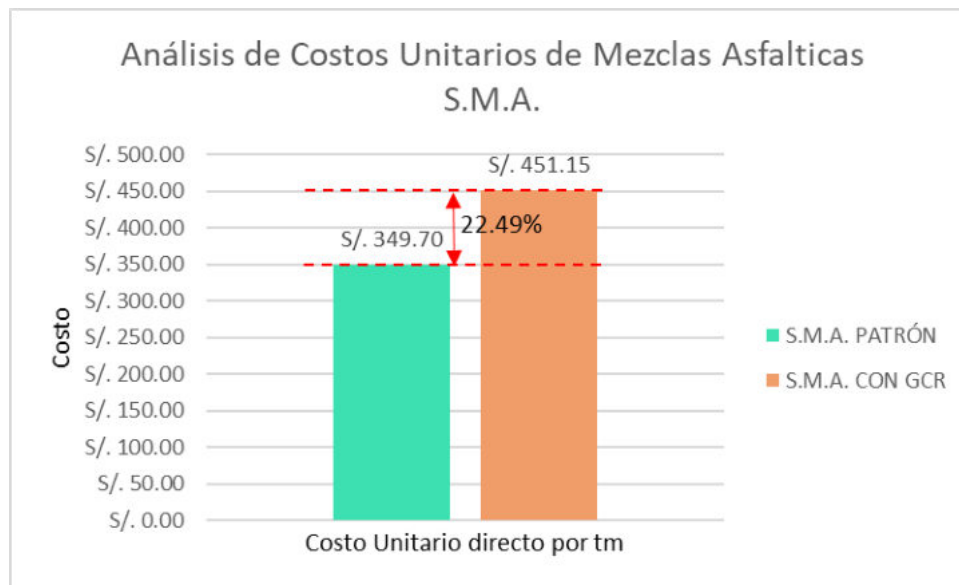
Nota. Esta tabla muestra el resumen del análisis de costos unitarios para ambos tipos de mezclas, en la primera columna indica los recursos usados, en las siguientes columnas los precios según el tipo de mezcla, y en la última fila el costo unitario directo por Tm para cada una de las mezclas.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 143

Análisis Comparativo de Costos Unitarios de Mezclas Asfálticas S.M.A. Patrón - S.M.A. Con GCR



Nota. Esta figura muestra un grafica de barras del Análisis de Costos Unitarios de Mezclas Asfálticas S.M.A. con GCR y S.M.A. Patrón, en el eje vertical se muestran los valores de costo, la barra verde indica el valor alcanzado por la muestra con GCR y la barra naranja para la muestra Patrón, así también se muestran dos líneas punteadas que señalan la diferencia en porcentaje de estas.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de costos

El análisis comparativo de precio unitario de una mezcla S.M.A. Patrón respecto a una mezcla S.M.A. con GCR, se aprecia que carpeta asfáltica en caliente S.M.A. Patrón tiene un costo de S/ 349.70 por tm, mientras que la carpeta asfáltica en caliente con GCR tiene un costo S/ 451.15 por tm, presentando una diferencia negativa de -S/101.45. Además, en la figura se aprecia que la mezcla S.M.A. con GCR presenta un costo de 22.49% mayor a la mezcla S.M.A Patrón, por lo cual no se recomiendo emplear el GCR como sustituto parcial del agregado grueso.



Capítulo V: Discusión

a) *Contraste de resultados con referentes del marco teórico.*

Discusión N°01: ¿Por qué se eligió el agregado grueso de ¾” y ½” de Vicho, el agregado fino de Vicho y Cunyac?

Dado que estas canteras son las más cercanas a la ciudad del Cusco, además de buscar ampliar el universo de agregados para mezclas asfálticas en nuestra región, se realizaron las pruebas de calidad que exige la norma para los agregados en este tipo de mezclas, concluyendo que son áridos aceptables para el uso de mezclas asfálticas S.M.A.

Discusión N°02: ¿Por qué se escogió el grano de caucho reciclado para la elaboración de una mezcla asfáltica?

En función de las características que presenta como: resistencia a la tracción y al desgarramiento, excelente resiliencia, buena deformación remanente, así como su resistencia a altas y bajas temperaturas que son muy importantes para las mezclas asfálticas. Además de ser un material que puede ser reciclado para contribuir al medio ambiente.

Discusión N°03: ¿Cómo aseguramos el control de calidad de los agregados para la elaboración de las mezclas asfálticas S.M.A.?

El control de calidad se fundamentó en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – 2013”, el Manual de Ensayo de Materiales del MTC y AASTHO TP 57 ya que están basadas en normas internacionales de diferentes países de Europa, así como Estados Unidos y Canadá, obteniendo resultados óptimos que obedecieron los requerimientos demandados de las normativas.

b) *Interpretación de los resultados encontrados en la investigación.*

Discusión N°04: ¿Por qué el agente estabilizante (Fibra Celulosa de Papel Bond) impide el escurrimiento del asfalto en la mezcla?

Dado que la fibra celulosa de papel bond está compuesta en su mayoría por celulosa, sus enlaces moleculares permiten que sea impermeable y al entrelazarse sus fibras están funcionando como una malla reduciendo el escurrimiento del asfalto.



Discusión N°05: ¿Cómo se estableció el % óptimo de grano de caucho reciclado para adicionar a la mezcla S.M.A.?

Se decanto por un contenido de GCR de $16.41\% \approx 16.5\%$ cercano al $\% Va = 4\%$ (valor de diseño), $\%VMA \geq 17\%$, $VCA_{mezcla} < VCA_{DRC}$, con parámetros volumétricos requeridos igual a la mezcla S.M.A. Patrón para cumplir los requerimientos para una mezcla S.M.A.

c) Comentario de la demostración de la hipótesis.

Discusión N°06: ¿Cuál es el ensayo más característico para mezclas asfálticas S.M.A. que se pudo realizar durante la investigación?

El más característico para mezclas S.M.A. es el ensayo de deformación permanente ya que se puede observar el desempeño de una mezcla S.M.A. Patrón y con GCR (Grano de Caucho Reciclado) en una situación similar a la realidad, obteniendo una deformación permanente de 1.25 mm y 12.00 mm respectivamente, para 1528 pasadas sin alcanzar las 20000 pasadas requeridas de la rueda cargada de Hamburgo, demostrando que no cumplen con lo mínimo requerido según la norma AASHTO T 324.

Discusión N°07: ¿Por qué vario solo el agregado grueso en la fabricación de la mezcla asfáltica S.M.A.?

Se vario el agregado grueso por ser el componente más importante en mezclas asfálticas S.M.A., debido a que estas mezclas fundamentan su estructura en el contacto piedra con piedra, buscando una mezcla asfáltica para alto transito con costos reducidos y además de que la mayoría de los trabajos de investigación se enfocan en la sustitución del árido fino, no habiendo explorado el posible comportamiento al sustituir el agregado grueso.

d) Aporte de la investigación.

Discusión N°08: ¿Cuáles son los aportes de la Investigación actual?

Brindar mayor conocimiento de una tecnología usada en países extranjeros como Alemania desde 1960, que a lo largo de los años países como Estados Unidos, Canadá y el continente Europeo, han ido adoptando y optimizando para el alto tránsito y climas fríos.

Además, dar alternativa de reciclaje de neumáticos usados, al usar grano de caucho reciclado buscando la mejora de propiedades físico-mecánicas de la mezcla S.M.A, aminorar costos de producción, logrando obtener una mezcla asfáltica para el alto transito con materiales



recicladados, buscando prolongar la vida útil de los pavimentos y reducir el costo de mantenimiento a largo plazo.

e) *Incorporación de temas nuevo que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de investigación.*

Discusión N°09: ¿Por qué a mayor grano de caucho reciclado dentro de la mezcla asfáltica genera menos % vacíos?

Esto se debe a que la gravedad específica bulk del grano de caucho reciclado es mucho menor a un árido convencional, por tanto, el GCR al ser inversamente proporcional al % de vacíos justifica que a mayor % de grano de caucho reciclado incluido dentro de la mezcla asfáltica, tendrá menor % de vacíos.

Discusión N°10: ¿Cómo es el comportamiento del grano de caucho reciclado en una mezcla asfáltica S.M.A. en el proceso de mezclado?

En el transcurso del mezclado se observó que el grano de caucho reciclado incidía en el volumen de la mezcla debido a su densidad menor que presenta, por lo que al compactarse presentaba mayores poros comparado a la mezcla Patrón, por ende, el volumen de la muestra se incrementaba.



Glosario

ABRASIÓN: Desgaste mecánico de áridos y rocas por impacto y/o fricción.

ADHERENCIA: Posibilidad de dos materiales para juntarse y formar una capa sólida.

AGENTE ESTABILIZANTE: Añadido de origen sintético, orgánico o mineral que reduce el escurrimiento de asfalto en mezclas asfálticas.

AGREGADO FINO: Material procedente del proceso de la disgregación artificial o natural, que pasa el tamiz de 3/8" y queda retenido en el tamiz N° 200.

AGREGADO GRUESO: Material procedente del proceso de disgregación de rocas, clasificada en grava o piedra chancada, que es retenido en el tamiz N° 4.

AGREGADO: Material proveniente de la roca, utilizado sin apenas sufrir transformaciones, por lo general yacen en forma de macizos rocosos o en depósitos no consolidados incluyendo arenas y gravas.

AHUELLAMIENTO: Tipo de falla producido en pavimentos asfálticos, con forma de depresión canalizada en la huella de vehículos producto de circulación de tráfico pesado y altas temperaturas.

ASFALTO MODIFICADO: Asfalto añadido de polímero u otro modificador con el objetivo de mejorar sus propiedades físico-mecánicas.

ASFALTO: Conocido como bitumen, es un líquido viscoso de color negro compuesto de hidrocarburos y derivados. Al poseer impermeabilidad, adherencia es ideal para la construcción de pavimentos.

BASE: Parte de la estructura de un pavimento, hecha de material procesado y selecto, ubicada entre la subbase y capa de rodadura.

CARPETA ASFALTICA: Parte de la estructura de un pavimento, que conforma la parte superior de esta y está en contacto directo con las cargas.

CARRETERA: Vía de transporte construida fundamentalmente para la circulación de vehículos.

CURVA GRANULOMETRICA: Representación gráfica de la granulometría de los agregados, obtenida a partir de los porcentajes que pasan los tamices.



DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD: Fenómeno que genera fallas prematuras en pavimentos asfálticos debido a la pérdida de adherencia entre el agregado y ligante asfáltico, así como la difusión de la humedad en la mezcla asfáltica, haciéndola más susceptible a cargas cíclicas.

DEFORMACION PERMANENTE: Es la deformación que no se recupera, más bien se acumula con cada reiteración de ciclo generando ahuellamiento, que pueden originar fallas estructurales en el pavimento.

DENSIDAD DE MEZCLA ASFALTICA: Definida como peso unitario, esta característica es fundamental es esencial una alta densidad dado que influye en el rendimiento de un pavimento para que se duradero.

ESCURRIMIENTO: Fenómeno que se caracteriza por el drenaje del ligante asfáltico de la estructura conformada por agregados.

ESTABILIDAD MARSHALL: Es el número total de newtons (N) necesarios para generar la rotura de la probeta a 60 °C.

FIBRA DE CELULOSA: Derivado renovable de origen vegetal, originario de especies vegetales y madera con pared celular.

FILLER: Sustancias finas insolubles en asfalto que modifican sus propiedades mecánicas y consistencia:

FLUJO MARSHALL: Es la deformación de la probeta asfáltica en el punto máximo de carga.

GAP GRADED: Mezclas de granulometría incompletas.

GRADO DE DESEMPEÑO: Es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico convencional o modificado se desempeña satisfactoriamente.

IMPERMEABILIDAD: Cualidad de un pavimento asfáltico de soportar el paso de aire y agua a través de su estructura.

METODO MARSHALL: Es un experimento dirigido al diseño de una mezcla asfáltica por medio de análisis de su estabilidad, flujo, densidad y vacíos.



MEZCLA ASFALTICA: Material utilizado en la carpeta asfáltica de un pavimento flexible, conformado por agregados pétreo y cubierto por un mastic de asfalto. La mezcla es realizada en una planta fija o móvil para su posterior puesta en obra donde se extiende y compacta.

PARAMETROS VOLUMETRICOS: Relaciones volumétricas entre los agregados y el ligante asfáltico.

PEN 85/100: Cemento Asfáltico de penetración 85 -100 mm.

RUEDA CARGADA DE HAMBURGO: Equipo que determina la resistencia a la deformación permanente de mezclas asfálticas con el fin de evitar el ahuellamiento de pavimentos asfálticos.

SMA: Stone Mastic Asphalt, mezcla asfáltica con gradación discontinua, conformada en su mayoría por agregados gruesos y un mastic de asfalto.

SUB BASE: Parte de la estructura de un pavimento, que se ubica debajo de la base.

SUPERPAVE: Metodología de diseño de mezclas asfálticas que se basan en la medición de propiedades fundamentales de los ligantes, que relacionan tensiones y deformaciones en el material.

TRABAJABILIDAD: Facilidad de las mezclas asfálticas para ser colocadas y compactadas en obras viales.

VOLUMEN DE VACIOS: Cantidad total de espacios de aire en una mezcla compactada.



Nomenclatura

ASTM	Asociación Americana para el Ensayo de Materiales (American Society for Testing Materials).
GCR	Grano de Caucho Reciclado.
HMA	Mezcla asfáltica en caliente (Hot Mix Asphalt)
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
NAPA	Asociación Nacional de Pavimentos Asfálticos (National Asphalt Pavement Association).
SMA	Asfalto con Matriz de Piedra (Stone Mastic Asphalt)
TM	Tamaño Máximo del agregado.
TMN	Tamaño Máximo Nominal del agregado.
Va	Vacíos de Aire
VCA drc	Vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado.
VCA Mezcla	Vacíos en el Agregado Grueso en Mezcla
VMA	Vacíos en el Agregado Mineral



Conclusiones

Conclusión N°01

De acuerdo la Hipótesis General Alternativa y los efectos encontrados en el presente estudio no se demuestra en su totalidad la afirmación de la hipótesis: “ H_i : La estabilidad Marshall, la deformación permanente y costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón”, debido a que la Mezcla S.M.A. con Grano de Caucho Reciclado presenta un incremento respecto a una Mezcla S.M.A. Patrón, en la deformación permanente y costos, mas no en la estabilidad Marshall.

Conclusión N°02

Se afirma la primera Sub hipótesis Nula “ H_0 : La estabilidad Marshall de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado no presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.”, debido que la mezcla S.M.A. con Grano de Caucho Reciclado, no presenta un incremento respecto a la estabilidad Marshall en comparación a la Mezcla S.M.A. Patrón.

La Mezcla S.M.A. con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico incorporada con 16.5% de Grano de Caucho Reciclado (GCR) presenta una estabilidad Marshall de 859.10 kgf frente a la estabilidad Marshall de 1710.90 kgf de una Mezcla S.M.A. Patrón con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico. Ambos valores obedecen los requerimientos establecidos por las “Especificaciones de Mezclas S.M.A. para Diseño Marshall NAPA 2002” como se aprecia en la tabla 152. De igual manera el resultado y comparación de estos se aprecia en la figura 139.

Conclusión N°03

Se afirma la segunda Sub hipótesis Alternativa “ H_i : La deformación permanente de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.”, debido que la mezcla S.M.A. con Grano de Caucho Reciclado, presenta un incremento respecto a la deformación permanente en comparación a la Mezcla S.M.A Patrón.

La Mezcla S.M.A. con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico incorporada con 16.5% de Grano de Caucho Reciclado (GCR) presenta una deformación permanente de 12 mm en 1528 número de pasadas frente a la deformación permanente de 1.25 mm en 1528 número de pasadas de una Mezcla S.M.A. Patrón con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico. Ambos valores no obedecen los requerimientos establecidos en la norma AASHTO T 324. De igual manera el resultado y comparación de estos se aprecia en la figura 142.



Conclusión N°04

Se afirma la tercera Sub hipótesis Alternativa “ H_i : Los costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón”, debido que la mezcla S.M.A. con Grano de Caucho Reciclado, presenta un incremento respecto a costos en comparación a la Mezcla S.M.A. Patrón.

La Mezcla S.M.A. con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico incorporada con 16.5% de Grano de Caucho Reciclado (GCR) presenta costo de S/ 451.15 frente al costo de S/ 349.70 de una Mezcla S.M.A. Patrón con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico. Ambos resultados se aprecian en las tablas 153 y 154.

Conclusión N°05

El valor de flujo de la Mezcla S.M.A. con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico incorporada con 16.5% de Grano de Caucho Reciclado (GCR) presenta valor de 8.77 frente al flujo de 6.37 de una Mezcla S.M.A. Patrón con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico. Solo el primer valor obedece el requerimiento establecido en la “Especificaciones de Mezclas S.M.A. para Diseño Marshall NAPA 2002” como se aprecia en la tabla 152. De igual manera el resultado y comparación de estos se aprecia en la figura 140.

Conclusión N°06

Los parámetros volumétricos de la Mezcla S.M.A. con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico incorporada con 16.5% de Grano de Caucho Reciclado (GCR) presenta %Va de 3.972%, %VMA de 24.641%, y el $\%VCA_{MEZCLA} < \%VCA_{DRC}$ de 34.363% < 38.499% respectivamente, frente %Va de 4.535%, %VMA de 26.465%, y el $\%VCA_{MEZCLA} < \%VCA_{DRC}$ de 38.558% < 45.809% respectivamente, de una Mezcla S.M.A. Patrón con una proporción de 6.5% de cemento asfáltico. Todos los valores obedecen el requerimiento establecido en la “Especificaciones de Mezclas S.M.A. para Diseño Marshall NAPA 2002” como se aprecia en la tabla 152. De igual manera el resultado y comparación de estos se aprecian en las figuras 136, 137 y 138.



Conclusión N°07

El daño inducido por humedad de la Mezcla S.M.A con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico incorporada con 16.5% de Grano de Caucho Reciclado (GCR) presenta un %TSR=90.14% frente al %TSR=87.91% de una Mezcla S.M.A. Patrón con una proporción de 6.5% de ligante asfáltico. Todos los valores obedecen el requerimiento establecido en la “Especificaciones de Mezclas S.M.A. para Diseño Marshall NAPA 2002” como se aprecia en la tabla 152. De igual manera el resultado y comparación de estos se aprecia en la figura 141.



Recomendaciones

Recomendación N°01

De acuerdo a la investigación realizada, enfocada en el análisis comparativo de una mezcla asfáltica S.M.A utilizando agregados de la región, ligante asfáltico y filler, donde la proporción de estos dos últimos son de incidencia para mezclas S.M.A. por cual se recomienda realizas nuevos estudios en referencia a asfalto modificados u otros materiales de la región para la sustitución del filler y así evaluar el desempeño de sus propiedades fisico-mecánicas en mezclas S.M.A.

Recomendación N°02

Se realizo el Análisis Comparativo por Estabilidad Marshall, Deformación Permanente y Costos de Mezclas Stone Mastic Asphalt con Grano de Caucho Reciclado Respecto a una Mezcla Stone Mastic Asphalt Patrón, por lo cual se recomienda el Análisis comparativo sustituyendo parcialmente el agregado grueso con otros materiales, como se realizó en el presente estudio, con respecto a una Mezcla Asfáltica S.M.A. Patrón.

Recomendación N°03

El sustituto parcial de agregado grueso que se propuso en el presente estudio fue el Grano de Caucho Reciclado, que fue cortado y tamizado para un TMN de 1/2". Recomendando la utilización de este material para la sustitución parcial del árido fino, con la finalidad de verificar si los resultados son similares, mejores o inferiores a las Mezclas Asfálticas S.M.A. patrón en cuanto a sus propiedades.

Recomendación N°04

En el presente estudio, se desarrolló el análisis comparativo de mezclas asfálticas S.M.A. patrón, así como para las mezclas asfálticas S.M.A. modificada con GCR, empleando ligante asfáltico PEN 85/100 de acuerdo con el Grado de Desempeño establecido para la geografía propuesta. Se recomienda utilizar otra metodología para elegir el tipo de ligante asfáltico, con la finalidad de evaluar las diferencias e incidencia del ligante en las mezclas asfálticas S.M.A.



Recomendación N°05

En el presente estudio, se desarrolló el análisis de la resistencia a la deformación permanente para mezclas asfálticas S.M.A. patrón, así como para las mezclas asfálticas S.M.A. modificada con GCR, debido a ello se recomienda el desarrollo de una investigación referente a la resistencia de la deformación permanente, para distintas proporciones de adición de ligante asfáltico y Grano de Caucho Reciclado (GCR), con el objetivo de evaluar esta propiedad bajo distintas proporciones de adición.

Recomendación N°06

Con el fin de ampliar el catálogo de trabajos de investigación referente a la deformación permanente, se sugiere al Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto de la Universidad Andina del Cusco equipar con equipos especializados, para evaluar el desempeño de mezclas asfálticas, como.

- Compactador Giratorio SUPERPAVE, ya que es un complemento para la Rueda Cargada de Hamburgo, debido a que es necesario la fabricación de especímenes asfálticos compactados (6”),

Recomendación N°07

Se sugiere a los gobiernos distritales, provinciales, regionales y las entidades encargadas de ejecución de obras viales con pavimentos flexibles, emplear nuevas técnicas amigables con el medio ambiente, como emplea el presente estudio, el cual incorpora el Grano de Caucho Reciclado (GCR) a una tecnología poco usada en el país como es la mezcla asfáltica S.M.A., logrando un desempeño mecánico favorable y del mismo modo contribuye a la disminución de contaminación ambiental.



Referencias

- Colares do Vale, A., Toé Casagrande, M. D., & Barbosa Soares, J. (2007). *VIABILIDADE DAS FIBRAS DE COCO EM MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO SMA SEGUINDO METODOLOGIA SUPERPAVE*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará.
- AASHTO T324. (2019). *Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Asphalt Mixtures*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Alfayez, S., Suleiman, A., & Nehdi, M. (31 de Octubre de 2020). Recycling Tire Rubber in Asphalt Pavements: State of the Art. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*.
- Ambientum. (21 de Octubre de 2019). *Ambientum*. Obtenido de <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/reciclaje-de-pet.asp#:~:text=Qu%C3%ADmicamente%20el%20PET%20es%20un,un%20alto%20grado%20de%20cristalinidad>.
- Ameli, A., Maher, J., Mosavi, A., Nabipour, N., Babagoli, R., & Norouzi, N. (2020). Performance evaluation of binders and Stone Matrix Asphalt (SMA). *Elsevier*.
- Angumba, P. (Julio de 2016). *Universidad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25297/1/tesis.pdf>
- Asphalt Institute. (1992). *Principios de construcción de mezcla asfáltica en caliente*. Lexington.
- Asphalt Institute. (2001). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en*. Lexington: Asphalt Institute.
- ASTM D6390. (2012). *Standard Test Method for Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures*. West Conshohocken: ASTM International.
- Ayala del Toro, Y., Delgado Alamilla, H., Guzman Ortiz, D. V., & Salazar Rivera, A. Z. (2018). *Manual de ensayo para laboratorio*. Sanfadila: Instituto Mexicano del Transporte.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la Investigación: Administración, Economía, Humanidades y Ciencias Sociales. Tercera Edición*. Bogotá: Pearson Education.
- Blazejowski, K. (2011). *Stone Matrix Asphalt - Theory and Practice*. Boca Ratón: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Borja Suárez, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.
- Brown, E., & Manglorkar, H. (1993). Evaluation of Laboratory Properties of SMA Mixtures. Aurbun.



- Cámara Peruana de la Construcción. (2003). *Costos y Presupuestos en Edificación*. Lima: CAPECO.
- Civil, V. d. (2013). Especial Asfaltos. *VECTOR de la Ingeniería Civil*, 20.
- Construmatica. (s.f). *Construmatica*. Obtenido de <https://www.construmatica.com/construpedia/Resistencia>
- Corbacho Chipana, J. E. (2019). *Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del Cusco-2018*. Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- De La Cruz Bazán, P., & Porras Zavala, M. J. (2015). *Evaluación de Desempeño de Mezclas Asfálticas en Caliente Diseñadas por la Metodología Marshall con el Ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo para el Proyecto de Rehabilitación de la Carretera DV Imperial-Pampas*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Díaz Claros, C. M., & Castro Celis, L. C. (2017). *Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá*. Bogotá: Universidad de Santo Tomás.
- Farfan Valverde, B. A., & Flores Collantes, R. J. (2018). *Análisis y propuesta de carpeta asfáltica con la tecnología (S.M.A) modificada con fibra natural de caña de azúcar, Cusco 2018*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- García, C. (22 de Diciembre de 2016). *Ingeniería Mecánica Blog*. Obtenido de <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/12/ingenieria-mecanica-que-es-el-grano-de.html>
- Garnica Anguas, P. (2013). Especial Asfaltos. *VECTOR de la Ingeniería Civil*, 20.
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., & Sandoval Sandoval, C. D. (2005). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Sanfadila: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Harper, C. (2004). *Manual de Plásticos*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill Education.
- INEI. (2016). *Instituto Nacional de Estadística*.
- Instituto de Desarrollo Urbano. (2013). *Mezclas asfálticas en caliente con asfaltos modificados con caucho por vía húmeda*. Bogota: IDU.
- Instituto Mexicano Del Transporte. (2018). *Manual De Ensayos Para Laboratorio*. Sanfadila.



- Instituto Nacional de Vias. (2012). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*. Bogotá: INVIAS.
- Ladino Oyola, Y. B., & Rubiano Quiroga, A. M. (2017). *Adoquines en asfalto reciclado y grano de caucho reciclado*. Bogotá: Universidad La Gran Colombia.
- Martins de Reis, R. M., Bariani Bernucci, L., del Águila Rodríguez, P., Sheigui, S., & Lamaro Zanon, A. (s.f.). *REVESTIMIENTO ASFÁLTICO TIPO SMA PARA ALTO DESEMPEÑO DE VIAS DE TRÁFEGO PESADO*. Sao Paulo: Editorial de la Universidade de São Paulo.
- Minaya Gonzalez, S., & Ordoñez Huaman, A. (2001). *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos Volumen I*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Minaya Gonzalez, S., & Ordoñez Huaman, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *"Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima.
- Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la Investigación de Cuantitativa y Cualitativa Guía Didáctica*. Neiva: Universidad Surcolombiana Facultad de Ciencias Sociales y Humanas Programa de Comunicación Social y Periodismo.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño. Segunda Edición*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- MTC E203. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E204. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E205. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E206. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E207. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



- MTC E209. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E210. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E214. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E219. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E222. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E223. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E504. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E520. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E522. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- National Asphalt Pavement Association. (2002). *Designing and Constructing SMA Mixtures State of the Practice*. Maryland: NAPA.
- Ojeda, M. (27 de Diciembre de 2012). *Tecnología de los Plásticos*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/12/produccion-de-escamas-de-pet.html>
- Petroperú. (s.f). *Petroperú asfaltos*. Obtenido de <https://www.petroperu.com.pe/asfaltos/docs/especificaciones/RevEvaluacionCementosAsfalticos.pdf>
- QuimiNet. (22 de Noviembre de 2005). *QuimiNet*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/proceso-de-produccion-del-pet-2561170.htm>
- Reciclaje de llantas usadas. (s.f). *Reciclaje de llantas usadas: La nueva economía ecológica*. Obtenido de http://www.vivoenitalia.com/wp-content/uploads/2009/05/reciclaje-de-llantas-usadas_la-nueva-economia-ecologica.pdf
- Richardson, T., & Lokensgard, E. (2007). *Industria del plástico: plástico industrial*. Madrid: Thomson-Paraninfo.



- Róndon Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos Materiales, construcción y diseño*. Lima: Macro.
- Rondón Quintana, H., & Reyes Lizcano, F. (2015). *Pavimentos*. Bogotá: Macro.
- Rubber Manufactures Association. (s.f). *Scrap Tires Characteristics*.
- Salkind, N. J. (2010). *Encyclopedia of Research Design*. SAGE Publications, Inc.
- Sánchez Mora, J. J. (2003). *Comportamiento Termico y Mecanico del Polietileno Tereftalato (PET) Modificado con Resinas Polimerica basadas en Bisfenol-A*. Barcelona: Universitat Politecnica de Catalaunya.
- Sanchez Sabogal, F. (2009). *Curso Básico de Diseño de Pavimentos. Modulo 9 Revestimientos Bituminosos*.
- Tapia Carpio, P. C., & Valderrama Lozano, W. E. (2018). *ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA S.M.A. CON FIBRA DE CELULOSA COMERCIAL, CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA S.M.A. CON CELULOSA ELABORADA DE PAPEL BOND*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- TDM GRUPO. (2016). *Pavimentación con mezclas asfálticas modificadas con polímeros*. Obtenido de <http://www.tdm.com.pe/soluciones-pavimentacion-mezclas-asfalticas-modificadas.php>
- The Asphalt Institute. (1986). *Manual del Asfalto*. Bilbao: Urmo S.A. de Ediciones.
- Torres Velázquez, R., Hernández Villares, H., Romero Zepeda, F., & Torres Verdín, V. (25 de Octubre de 2016). *PRUEBA DE DESEMPEÑO EN DIFERENTES MEZCLAS ASFÁLTICA*. Obtenido de <http://entretextos.leon.uia.mx/num/24/PDF/ENT24-9.pdf>
- TP Laboratorio Químico. (s.f). *TP Laboratorio Químico*. Obtenido de <https://www.tplaboratorioquimico.com/quimica-general/las-propiedades-de-la-materia/densidad.html>
- Universidad de Sao Paulo. (s.f). *Mapa de Distribución de PG de Ligante Asfaltico*. Sao Carlos: Universidad de Sao Paulo.
- Universidad Mayor de San Simón. (s.f). *Manual Completo Diseño de Pavimentos*. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.
- Vivar, M. (7 de Mayo de 2021). *Interpro*. Obtenido de <https://www.interpro.ec/analisis-de-precios-unitarios/#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20precio%20unitario,mano%20de%20obra%2C%20equipos%20y>



Anexos

Anexo N°01: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	MÉTODO
<p><u>Problema General:</u></p> <p>¿Cuál es el análisis comparativo de la estabilidad Marshall, la deformación permanente y costos de una Mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón?</p> <p><u>Problemas Específicos:</u></p> <p>1: ¿Cuál es el análisis comparativo de la estabilidad Marshall de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón?</p> <p>2: ¿Cuál es el análisis comparativo de la deformación permanente de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón?</p> <p>3: ¿Cuál es el análisis comparativo de costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón?</p>	<p><u>Objetivo General:</u></p> <p>Analizar comparativamente la estabilidad Marshall, la deformación permanente y los costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p> <p><u>Objetivos Específicos:</u></p> <p>1: Analizar la comparación de la estabilidad Marshall de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p> <p>2: Analizar la comparación de la deformación permanente de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p> <p>3: Analizar la comparación de costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p>	<p><u>Hipótesis General:</u></p> <p>Hi: La estabilidad Marshall, la deformación permanente y costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p> <p>Ho: La estabilidad Marshall, la deformación permanente y costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado no presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p> <p><u>Hipótesis Específicos:</u></p> <p>1: Hi: La estabilidad Marshall de una mezcla S.M.A con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p> <p>Ho: La estabilidad Marshall de una mezcla S.M.A con grano de caucho reciclado no presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p> <p>2: Hi: La deformación permanente de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p> <p>Ho: La deformación permanente de una mezcla S.M.A con grano de caucho reciclado no presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p> <p>3: Hi: Los costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p> <p>Ho: Los costos de una mezcla S.M.A. con grano de caucho reciclado no presenta un incremento respecto a una mezcla S.M.A. patrón.</p>	<p><u>V. Dependiente</u></p> <p>1: Estabilidad Marshall</p> <p>2: Deformación permanente</p> <p>3: Costos</p> <p><u>V. Independiente</u></p> <p>4: Mezcla S.M.A. (Stone Mastic Asphalt)</p>	<p>1: Método Marshall (ASTM D-1559)</p> <p>2: Rueda cargada de Hamburgo (AASHTO T324)</p> <p>3: 3.1: Análisis de Costo de Mezcla S.M.A. Patrón 3.2: Análisis de Costo de Mezcla S.M.A. con GCR</p> <p>4: 4.1: Mezcla S.M.A patrón</p> <p>4.2: Mezcla S.M.A con Grano de Caucho Reciclado (GCR)</p>	<p>1.1: Estabilidad Marshall (kg)</p> <p>1.2: Flujo Marshall (mm)</p> <p>2.1: Profundidad de ahueamiento (mm)</p> <p>3: Materiales (soles)</p> <p>4.1: Ligante asfáltico Pen 85/100 (%)</p> <p>4.2: Agregados pétreos gruesos (Kg)</p> <p>4.3: Agregados pétreos finos (Kg)</p> <p>4.4: Fibra Celulosa de Papel (%)</p> <p>4.5: Grano de Caucho Reciclado (GCR)</p>	<p><u>Enfoque:</u> Cuantitativo</p> <p><u>Diseño:</u> Preexperimental</p> <p><u>Alcance:</u> Descriptiva</p> <p><u>Población:</u></p> <p>- Para las GCR se dieron en 03 especímenes por cada porcentaje incremental.</p> <p>- Para la S.M.A patrón se dieron en 03 especímenes por cada porcentaje de ligante asfáltico.</p>



Anexo N°02: Informes de Laboratorio

LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 30 DE JUNIO DEL 2021
FECHA DE EMISION 01 DE JULIO DEL 2021

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO EG 2013 MTC E-204

MUESTRA: PIEDRA ANGULAR
CANTERA: VICHO (3/4")

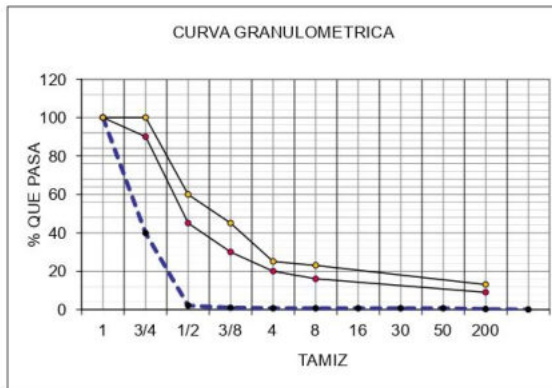
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL: 3/4"

Tamaño Max. 1
Huso
LIMITES GRANUL.

MALLA Pulg	Malla mm	PESO C/MALLA	RET. % C/MALLA	RETENIDO % C/MALLA	RETENIDO % ACUM.	% QUE PASA
1	25.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0
3/4	19.050	6020.47	60.19	60.2	39.8	39.8
1/2	12.700	3774.11	37.73	37.73	97.9	2.1
3/8	9.525	115.24	1.15	1.15	99.1	0.9
4	4.750	24.07	0.24	0.24	99.3	0.7
8	2.360	4.24	0.04	0.04	99.4	0.6
16	1.180	0.00	0.00	0.00	99.4	0.6
30	0.600	0.00	0.00	0.00	99.4	0.6
50	0.300	0.00	0.00	0.00	99.4	0.6
200	75 um	21.84	0.42	0.42	99.8	0.2
FONDO		10002.1	0.22	0.22	100.0	0.0

SEGUN LA EG 2013

MALLA	% QUE PASA
1	100
3/4	90
1/2	45
3/8	30
4	20
8	16
16	
30	
50	
200	0
FONDO	0



MUESTREO IDENTIFICACION REALIZADO POR EL PETICIONARIO

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz
ING CIVIL CIP 59563

LABORATORIO: AV. ALFONSO UGARTE 410 ZARZUELA - SANTIAGO
OFICINA: AV. DE LA CULTURA EDIFICIO LAS TORRES DE SAN ANTONIO OFC. 701

www.labsuelossac.com
TLF. 974675021 EMAIL: josesantacc@hotmail.com



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE
SOLICITANTE

SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO

TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION

CUSCO

FECHA DE RECEPCION EXP.

30 DE JUNIO DEL 2021

FECHA DE EMISION

01 DE JULIO DEL 2021

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO EG 2013 MTC E-204

MUESTRA :
CANTERA:

PIEDRA ANGULAR
VICO (1/2")

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL: 1/2"

Tamaño Max. 3/4"
Huso

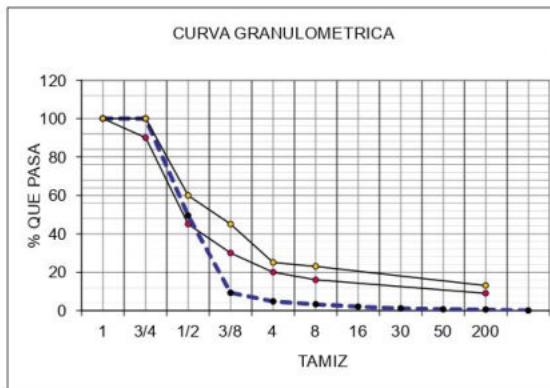
LIMITES GRANUL.

SEGUN LA EG 2013

MALLA Pulg	Malla mm	PESO C/MALLA	RET. % C/MALLA	RETENIDO % C/MALLA	RETENIDO % ACUM	% QUE PASA
1	25.000	0.00	0.00	0.00	0.0	100.0
3/4	19.050	0.00	0.00	0.00	0.0	100.0
1/2	12.700	6030.16	50.58	50.6	49.4	49.4
3/8	9.525	4783.38	40.12	40.7	9.3	30.7
4	4.750	545.93	4.58	95.3	4.7	25.3
8	2.360	178.97	1.50	96.8	3.2	16.8
16	1.180	145.32	1.22	98.0	2.0	10.0
30	0.600	195.20	0.88	98.9	1.1	6.9
50	0.300	49.48	0.42	99.3	0.7	4.3
200	75 um	19.87	0.17	99.5	0.5	2.5
FONDO		62.99	0.53	100.0	0.0	0.0

11921.3

MALLA	% QUE PASA
1	100
3/4	90
1/2	45
3/8	30
4	20
8	16
16	
30	
50	
200	8
FONDO	0



MUESTREO IDENTIFICACION REALIZADO POR EL PETICIONARIO

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
José Santa
ING CIVIL CIP 59563

LABORATORIO: AV. ALFONSO UGARTE 410 ZARZUELA - SANTIAGO
OFICINA: AV. DE LA CULTURA EDIFICIO LAS TORRES DE SAN ANTONIO OFC. 701

www.labsuelosac.com
TLF. 974675021 EMAIL: josesantacc@hotmail.com



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 30 DE JUNIO DEL 2021
FECHA DE EMISION 01 DE JULIO DEL 2021

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO EG 2013 MTC E-204

MUESTRA : PIEDRA CHANCADA
CANTERA: VICHO

ANALISIS GRANULOMETRICO

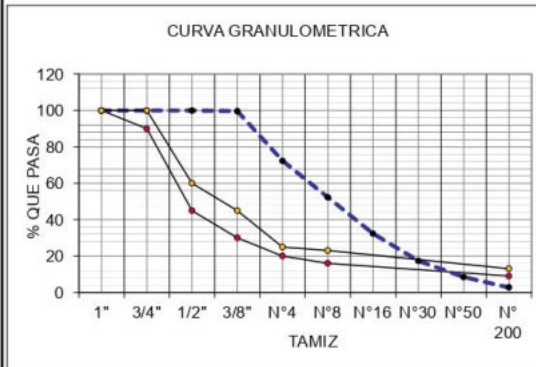
MALLA	mm	PESO C/MALLA	RET. % gr.	RETENIDO % C/MALLA	RETENIDO % ACUM.	% QUE PASA
1"	25.400		0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050		0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525		31.20	0.39	0.39	99.61
N°4	4.750		2209.00	27.27	27.66	72.34
N°8	2.360		1617.00	19.96	47.62	52.38
N°16	1.180		1627.00	20.09	67.71	32.29
N°30	0.600		1215.00	15.00	82.71	17.29
N°50	0.355		719.40	8.88	91.59	8.41
N°200	75 um		461.40	5.70	97.28	2.72
FONDO			220.00	2.72	100.00	0.00
TOTAL			8100.00	100.00		

LIMITES GRANUL. SMA

SEGUN LA EG 2013

MALLA	mm	% QUE PASA
1"	25.400	100
3/4"	19.050	90
1/2"	12.700	45
3/8"	9.525	30
N°4	4.750	20
N°8	2.360	16
N°16	1.180	
N°30	0.600	
N°50	0.355	
N°200	75 um	9

MODULO DE FINEZA 5.15



NOTA:
MUESTREO IDENTIFICACION REALIZADO POR EL PETICIONARIO

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Pani
ING. CIVIL

LABORATORIO: AV. ALFONSO UGARTE 410 ZARZUELA - SANTIAGO
OFICINA: AV. DE LA CULTURA EDIFICIO LAS TORRES DE SAN ANTONIO OFC. 701

www.labsueლოსsac.com
TLF. 974675021 EMAIL. josasantaccc@hotmail.com



LABSUELOS
S.A.C.



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS**

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 30 DE JUNIO DEL 2021
FECHA DE EMISION 01 DE JULIO DEL 2021

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO EG 2013 MTC E-204

MUESTRA : ARENA DE RIO
CANTERA: CUNYAC

ANALISIS GRANULOMETRICO

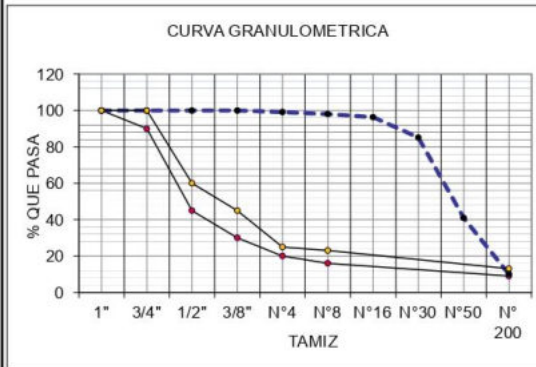
MALLA	mm	PESO C/MALLA	RET. % gr.	RETENIDO C/MALLA %	RETENIDO ACUM. %	% QUE PASA
1"	25.400		0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050		0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525		0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.750		9.00	0.90	0.90	99.10
N°8	2.360		11.00	1.10	2.00	98.00
N°16	1.180		17.00	1.70	3.70	96.30
N°30	0.600		112.00	11.20	14.90	85.10
N°50	0.355		441.00	44.10	59.00	41.00
N° 200	75 um		309.00	30.90	89.90	10.10
FONDO			101.00	10.10	100.00	0.00
TOTAL			1000.00	100.0	100.0	

LIMITES GRANUL. SMA

SEGUN LA EG 2013

MALLA	mm	% QUE PASA
1"	25.400	100
3/4"	19.050	90
1/2"	12.700	45
3/8"	9.525	30
N°4	4.750	20
N°8	2.360	16
N°16	1.180	
N°30	0.600	
N°50	0.355	
N° 200	75 um	9

MODULO DE FINEZA 2.70



NOTA:
MUESTREO IDENTIFICACION REALIZADO POR EL PETICIONARIO

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
José Sanja Cruz Pari
ING. CIVIL CIP: 59563

LABORATORIO: AV. ALFONSO UGARTE 410 ZARZUELA - SANTIAGO
OFICINA: AV. DE LA CULTURA EDIFICIO LAS TORRES DE SAN ANTONIO OFC. 701

www.labsuelosac.com
TLF. 974675021 EMAIL: josesantacc@hotmail.com



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE: SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE: SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
PROYECTO: TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.
UBICACION: CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP.: 30 DE JUNIO DEL 2021
FECHA DE EMISION: 01 DE JULIO DEL 2021

GRANULOMETRIA FILLER EG 2013 MTC E-204

MUESTRA: FILLER

ANALISIS GRANULOMETRICO

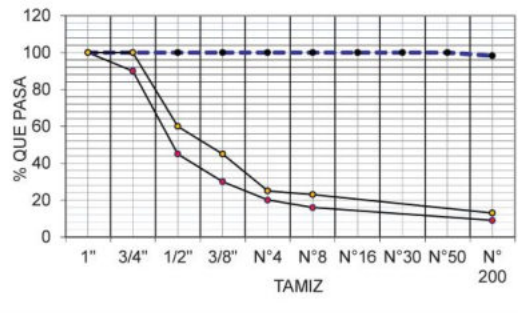
MALLA	mm	PESO C/MALLA	RET. % gr.	RETENIDO % C/MALLA	RETENIDO % ACUM.	% QUE PASA
1"	25.400		0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050		0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525		0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.750		0.00	0.00	0.00	100.00
N°8	2.360		0.00	0.00	0.00	100.00
N°16	1.180		0.00	0.00	0.00	100.00
N°30	0.600		0.00	0.00	0.00	100.00
N°50	0.355		0.00	0.00	0.00	100.00
N° 200	75 um		8.81	1.72	1.72	98.28
FONDO			491.49	98.28	100.00	0.00
TOTAL			500.10	100.0	100.0	

LIMITES GRANUL. SMA

MALLA	mm	% QUE PASA
1"	25.400	100
3/4"	19.050	90
1/2"	12.700	45
3/8"	9.525	30
N°4	4.750	20
N°8	2.360	16
N°16	1.180	
N°30	0.600	
N°50	0.355	
N° 200	75 um	9

MODULO DE FINEZA 1.02

CURVA GRANULOMETRICA



NOTA:
MUESTREO IDENTIFICACION REALIZADO POR EL PETICIONARIO

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Pari
ING. CIVIL CIP 59563

LABORATORIO: AV. ALFONSO UGARTE 410 ZARZUELA - SANTIAGO
OFICINA: AV. DE LA CULTURA EDIFICIO LAS TORRES DE SAN ANTONIO OFC. 701

www.labsuelosac.com
TLF. 974675021 EMAIL: josesantaccc@hotmail.com



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 30 DE JUNIO DEL 2021
FECHA DE EMISION 01 DE JULIO DEL 2021

ABRASION DE LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS
MTC E-207 NTP - 400.019 / 400.020

MUESTRA: **AGREGADO GRUESO**
CANTERA: **VICHO**

METODO "B"		
MALLA		PESO
PASA	RETENIDO	RETENIDO
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2501
Platillo		



TIPO DE GRADACION	Metodo "B"
Peso muestra al comenzar el ensayo	5001.00
Peso material retenido en el tamiz N°12	4012.00
Peso material que pasa el tamiz N°12	989.00
Porcentaje de desgaste (%)	19.78

NOTA:
MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

José Santa Cruz Pan
ING CIVIL CIP 59563



**LABSUELOS
S.A.C.**



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS**

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 03/07/2021
FECHA DE EMISION 08/07/2021

**MINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGRE
ASTM D - 4791 MTC E-221**

CANTERA	VICHO 3/4
MUESTRA	M - 01
UBICACION (Km)	

MATERIAL	Abertura	AGREGADO GRUESO			PARTICULAS CHATAS		PARTICULAS ALARGADAS		PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS		PARTICULAS NI CHATAS, NI ALARGADAS	
		PESO (A) (g)	RETIENE (C) (%)	PASA (%)	PESO (E) (g)	(%)	PESO (F) (g)	(%)	PESO (G) (g)	(%)	PESO (H) (g)	(%)

(pulg)	(mm)											
3 "	76.200											
2 "	50.800											
1 1/2 "	38.100			100.00							0.00	
1 "	25.400	0.0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4 "	19.050	3000.0	66.67	33.33	301.77	10.06	0.00	0.00	0.00	0.00	2698.23	89.94
1/2 "	12.700	1500.0	33.33	0.00	166.24	11.08	163.46	10.90	142.80	9.52	1027.50	68.50
3/8 "	8.750	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/4 "	6.350	0.0	0.00	0.00								
Nº 04	4.760	0.0	0.00	0.00								
Peso Total de la Muestra		4 500.0	100.00									
Peso de la Muestra de Ensayo (D) (Retenido 1/2")		4 500.0										

RESULTADOS
(Promedio Ponderado)

PARTICULAS CHATAS	10.40 %
PARTICULAS ALARGADAS	3.63 %
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	14.03 %

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
José Sanja Cruz Pari
ING. CIVIL CIP 99963

LABORATORIO: AV. ALFONSO UGARTE 410 ZARZUELA - SANTIAGO
OFICINA: AV. DE LA CULTURA EDIFICIO LAS TORRES DE SAN ANTONIO OFC. 701

www.labsuelossac.com
TLF.: 974675021 EMAIL: josesantaccc@hotmail.com



**LABSUELOS
S.A.C.**



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS**

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 03/07/2021
FECHA DE EMISION 08/07/2021

**MINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADO
ASTM D - 4791 MTC E-221**

CANTERA	VICHO 1/2
MUESTRA	M - 02
UBICACION (Km)	

MATERIAL	Abertura	AGREGADO GRUESO			PARTICULAS CHATAS		PARTICULAS ALARGADAS		PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS		PARTICULAS NI CHATAS, NI ALARGADAS	
		PESO (A) (g)	RETIENE (C) (%)	PASA (%)	PESO (E) (g)	(%)	PESO (F) (g)	(%)	PESO (G) (g)	(%)	PESO (H) (g)	(%)

(pulg)	(mm)											
3 "	76.200			100.00							0.00	
2 "	50.800			100.00							0.00	
1 1/2 "	38.100	0.0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 "	25.400	0.0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4 "	19.050	0.0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2 "	12.700	1500.0	75.00	25.00	102.82	6.85	106.99	7.13	155.00	10.33	1135.19	75.68
3/8 "	8.750	500.0	25.00	0.00	44.34	8.87	29.82	5.96	75.90	15.18	349.94	69.99
1/4 "	6.350	0.0	0.00	0.00								
Nº 04	4.760	0.0	0.00	0.00								
Peso Total de la Muestra		2 000.0										
Peso de la Muestra de Ensayo (D) (Retenido 3/8")		2 000.0										

RESULTADOS
(Promedio Ponderado)

PARTICULAS CHATAS	7.36 %
PARTICULAS ALARGADAS	6.84 %
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	14.20 %

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS DE CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Pani
ING. CIVIL CIP 59563

LABORATORIO: AV. ALFONSO UGARTE 410 ZARZUELA - SANTIAGO
OFICINA: AV. DE LA CULTURA EDIFICIO LAS TORRES DE SAN ANTONIO OFC. 701

www.labsuelosac.com
TLF.: 974675021 EMAIL: josesantaccc@hotmail.com



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE: SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE: SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 03/07/2021
FECHA DE EMISION 08/07/2021

PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS GRUESOS
(ASTM D 5128 , MTC E 210)

DATOS DE LA MUESTRA
DESCRIPCION: PIEDRA CHANCADA PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
MUESTRA: VICHO (3/4) CANTIDAD: 80 Kg

CANTERA	VICHO 3/4
MUESTRA	M - 01
UBICACIÓN (Km)	

I. PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO

Ia. CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS

ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (g)	PARTICULAS FRACTURADA S (g)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RET.					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	3250	3186.48	98.05	65.00	63.73
3/4"	1/2"	1750	1725.34	98.59	35.00	34.51
1/2"	3/8"					
		5000	4911.82	196.64	100.00	98.24

PARTICULAS CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS (%) 98.24

Ia. DOS O MAS CARAS FRACTURADAS

ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (g)	PARTICULAS FRACTURADA S (g)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RET.					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	3250	2867.40	88.23	65.00	57.35
3/4"	1/2"	1750	1642.22	93.84	35.00	32.84
1/2"	3/8"					
		5000	4509.62	182.07	100.00	90.19

PARTICULAS CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%) 90.19

OBSERVACIONES:
Muestra tomada por el peticionario.
Material Triturado.

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
Jose Sanja Cruz Part
ING. CIVIL CIP. 59563



**LABSUELOS
S.A.C.**



**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
AREA DE AGREGADOS**

CLIENTE: SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE: SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 03/07/2021
FECHA DE EMISION 08/07/2021

**PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS GRUESOS
(ASTM D 5128 , MTC E 210)**

DATOS DE LA MUESTRA
DESCRIPCION: PIEDRA CHANCADA PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
MUESTRA: VICHO (1/2) CANTIDAD: 75 Kg

CANTERA	VICHO 1/2
MUESTRA	M - 02
UBICACION (Km)	

I. PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO

Ia. CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS

ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (g)	PARTICULAS FRACTURADAS S (g)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RET.					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500	489.81	97.96	71.43	69.97
1/2"	3/8"	200	197.07	98.54	28.57	28.15
		700	686.88	196.50	100.00	98.13

PARTICULAS CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS (%) 98.13

Ia. DOS O MAS CARAS FRACTURADAS

ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCION DE ENSAYO (g)	PARTICULAS FRACTURADAS S (g)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACION ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RET.					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500	481.90	96.38	71.43	68.84
1/2"	3/8"	200	188.12	94.06	28.57	26.87
		700	670.02	190.44	100.00	95.72

PARTICULAS CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%) 95.72

OBSERVACIONES:
Muestra tomada por el peticionario.
Material Triturado.

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Part
ING. CIVIL CIP 59563



**LABSUELOS
S.A.C.**



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS**

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYEC TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 29/07/2021
FECHA DE EMISION 29/07/2021

**DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO
MTC E - 209**

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: PIEDRA CHANCADA PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
MUESTRA: VICHO CANTIDAD: 20 Kg

ENSAYO CUANTITATIVO .- AGREGADO GRUESO

Tamiz		% de Perdida Corregida	TOTAL
Pasa	Ret		
2 1/2"	1 1/2"	0.0	1.7 %
1 1/2"	3/4"	0.0	
3/4"	3/8"	0.6	
3/8"	Nº4	1.1	

ENSAYO CUALITATIVO - AGREGADO GRUESO

Tamiz		Rajadas		Fracturadas		Desmoronadas		Astilladas		Nº de particulas
Pasa	Ret	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Iniciales
2 1/2"	1 1/2"	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2"	3/4"	-	-	-	-	-	-	-	-	-

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Puri
ING CIVIL CIP 59563

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABORATORIO: AV. ALFONSO UGARTE 410 ZARZUELA - SANTIAGO
OFICINA: AV. DE LA CULTURA EDIFICIO LAS TORRES DE SAN ANTONIO OFC. 701

www.labsuelos.sac.com
TLF. 974675021 EMAIL: josasantacc@hotmail.com



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 27/07/2021
FECHA DE EMISION 27/07/2021

PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO.
MTC E - 206

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: PIEDRA CHANCADA PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
MUESTRA: PIEDRA CHANCADA VICHO "3/4") CANTIDAD: 90 Kg

Peso de la Muestra seca, gr.	A	3011.0	gr.
Peso de la muestra saturada sup. Seca en el aire, gr.	B	3014.2	gr.
Peso en el agua de la muestra saturada, gr.	C	1850.0	gr.

Peso Especifico Aparente. $P_{ea} = \frac{A}{A-C} = 2.59$

Peso Especifico sat. Superf. Seco. $P_{eSS} = \frac{B}{B-C} = 2.59$

Peso Especifico de la masa. $P_{em} = \frac{A}{B-C} = 2.59$

Absorción. $Ab(\%) = \frac{B-A}{A} \times 100 = 0.11$

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
.....
José Santa Cruz Ari
ING CIVIL CIP 59563

LABORATORIO: AV. ALFONSO UGARTE 410 ZARZUELA - SANTIAGO
OFICINA: AV. DE LA CULTURA EDIFICIO LAS TORRES DE SAN ANTONIO OFC. 701

www.labsuelosac.com
TLF. 974675021 EMAIL: josestacc@hotmail.com



**LABSUELOS
S.A.C.**



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS**

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 27/07/2021
FECHA DE EMISION 27/07/2021

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO.
MTC E - 206**

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: PIEDRA CHANCADA PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
MUESTRA: PIEDRA CHANCADA VICHO "1/2" CANTIDAD: 90 Kg

Peso de la Muestra seca, gr.	A	2824	gr.
Peso de la muestra saturada sup. Seca en el aire, gr.	B	2829	gr.
Peso en el agua de la muestra saturada, gr.	C	1737	gr.

Peso Especifico Aparente. $P_{ea} = \frac{A}{A - C} = 2.60$

Peso Especifico sat. Superf. Seco. $P_{eSS} = \frac{B}{B - C} = 2.59$

Peso Especifico de la masa. $P_{em} = \frac{A}{B - C} = 2.59$

Absorción. $Ab(\%) = \frac{B - A}{A} \times 100 = 0.18$

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

José Santa Cruz Pani
ING CIVIL C/P 59563



**LABSUELOS
S.A.C.**



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS**

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYEC TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 27/07/2021
FECHA DE EMISION 27/07/2021

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO.
MTC E - 206**

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: CAUCHO PICADO PRESENTACION: BOLSA BLANCA
MUESTRA: GCR CANTIDAD: 6 Kg

Peso de la Muestra seca, gr.	A	2010.4	gr.
Peso de la muestra saturada sup. Seca en el aire, gr.	B	2012.5	gr.
Peso en el agua de la muestra saturada, gr.	C	306.9	gr.

Peso Especifico Aparente. $P_{ea} = \frac{A}{A - C} = 1.18$

Peso Especifico sat. Superf. Seco. $P_{eSSS} = \frac{B}{B - C} = 1.18$

Peso Especifico de la masa. $P_{em} = \frac{A}{B - C} = 1.18$

Absorción. $Ab(\%) = \frac{B - A}{A} \times 100 = 0.10$

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Pari
ING CIVIL CIP 59563



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 30 DE JULIO DEL 2021
FECHA DE EMISION 05 DE AGOSTO DEL 2021

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS MTC E 203

MUESTRA: **AGREGADO GRUESO**
CANTERA: **VICHO**

Volumen de Recipiente (cm3): **3200.29**

Item	Proporcion de Agregados	Peso Suelto (gr)	Peso Compacto (gr)	P.U. Suelto (gr/cm3)	P.U. Compacto (gr/cm3)
1	VICHO 3/4" (7%) VICHO 1/2" (93%)	4237.0	4476.0	1.32	1.40
2	VICHO 3/4" (13%) VICHO 1/2" (87%)	4286.0	4555.0	1.34	1.42
3	VICHO 3/4" (20%) VICHO 1/2" (80%)	4213.0	4598.0	1.32	1.44

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Pari
ING CIVIL CIP 59563

NOTA:
MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 29/07/2021
FECHA DE EMISION 29/07/2021

LIMITES DE CONSISTENCIA
MTC E - 110

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: ARENA TRITURADA Y ARENA DE RIO
MUESTRA: VICO 80% + CUNYAC 20%
PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
CANTIDAD: 20 Kg

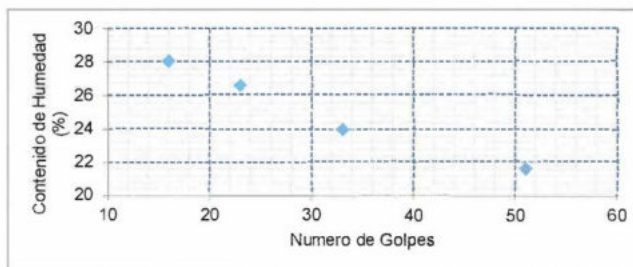
LIMITE PLASTICO - NTP 339.129

Muestra	1	2	3
Peso de la Capsula (gr)			
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)			
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (gr)			
Peso del Suelo Seco (gr)	NP	NP	NP
Contenido de Humedad (w)			
LIMITE PLASTICO (%) = NP			

LIMITE LIQUIDO - NTP 339.129

Muestra	1	2	3	4
Peso de la Capsula (gr)				
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)				
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (gr)				
Numero de golpes				
Peso del Suelo Seco (gr)	NP	NP	NP	NP
Contenido de Humedad (w)				
LIMITE LIQUIDO (%) = NP				

INDICE DE PLASTICIDAD (%) = NP



LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Jose Santa Cruz Pari
ING CIVIL CIP 59563



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 03/07/2021
FECHA DE EMISION 20/07/2021

VALOR DE AZUL DE METILENO
AASHTO TP 57

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: ARENA TRITURADA + ARENA DE RIO PRESENTACION: COSTALLILLO BLANCO
MUESTRA: VICHO (80%) Y CUNYAC (20%) CANTIDAD: 80 Kg

DATOS

Concentracion de la solucion de azul de metileno, en gramos de azul por ml de solucion: C: 5
Solucion de azul de metileno requerida en la Titulacion en ml V: 13
Peso de material seco utilizado en la prueba en gramos. W: 10

CALCULOS

$$VA = \frac{C \times V}{W}$$

VA (mg/gr)= 6.5

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Pan
ING CIVIL CIP 59563



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 03/07/2021
FECHA DE EMISION 20/07/2021

DETERMINACION DE EQUIVALENTE DE ARENA
MTC E-114

EQUIVALENTE DE ARENA MTC E 114-2000			
Nº de Ensayo	1	2	3
Hora de entrada	05.25	05.27	05.29
Hora de salida	05.35	05.37	05.39
Hora de entrada	05.37	05.39	05.41
hora de salida	05.57	05.59	06.01
Lectura finos (pulg.)	04.30	04.40	04.40
Lectura de arena (pulg.)	04.10	04.20	04.20
% de equivalente de arena	95.35	95.45	95.45
Equivalente de arena promedio	96.0		

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
.....
Jose Santa Cruz
ING CIVIL CIP 59563

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 01/08/2021
FECHA DE EMISION 01/08/2021

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO
MTC E-222

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: ARENA TRITURADA + ARENA DE RIO PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
MUESTRA: VICHO (80%) Y CUNYAC (20%) CANTIDAD: 80 Kg

DATOS

Peso del Agregado fino (gr): W **224**
Volumen del cilindro (cm³): V **157.7**
Gravedad espec. Bruta: Gsb **2.48**

CALCULOS

$$A^{\circ} = \frac{V - \frac{W}{G_{sb}}}{V} \times 100$$

A°= **42.7**

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Jose Santa Cruz Pari
ING CIVIL CIP 59563



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 29/07/2021
FECHA DE EMISION 29/07/2021

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO
MTC E - 209

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: ARENA TRITURADA Y ARENA DE RIO PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
MUESTRA: VICHO 80% + CUNYAC 20% CANTIDAD: 20 Kg

EXAMEN CUANTITATIVO .- AGREGADO FINO

Tamiz		% de Perdida	TOTAL
Pasa	Ret		
3/8"	N°4	0.0	3.3 %
N°4	N°8	0.1	
N°8	N°16	0.3	
N°16	N°30	0.6	
N°30	N°50	1.0	
N°50	N°100	1.3	

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Pari
ING CIVIL CIF 59563

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABORATORIO: AV. ALFONSO UGARTE 410 ZARZUELA - SANTIAGO
OFICINA: AV. DE LA CULTURA EDIFICIO LAS TORRES DE SAN ANTONIO OFC. 701

www.labsuelos.sac.com
TLF: 974875021 EMAIL: josesantacc@hotmail.com



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYEC TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 25/07/2021
FECHA DE EMISION 25/07/2021

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO FINO.
MTC E - 205

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: ARENA TRITURADA + ARENA DE RIO PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
MUESTRA: VICHO (80%) Y CUNYAC (20%) CANTIDAD: 80 Kg

Peso en el aire de la Muestra secada al Horno (gr)	A	483	gr.
Peso del Picnometro lleno con agua (gr):	B	661	gr.
Peso del Picnometro con la muestra y el agua hasta la marca de calibracion (gr) C	C	966	gr.
Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (gr).	S	500	gr.

Peso Especifico de la masa $Pem = \frac{A}{B + S - C} = 2.48$

Peso Especifico saturado superficialmente seco. $PeSSS = \frac{S}{B + S - C} = 2.56$

Peso Especifico Aparente. $Pea = \frac{A}{B + A - C} = 2.71$

Absorción. $Ab(\%) = \frac{S - A}{A} \times 100 = 3.52$

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Pari
ING CIVIL CIP 59563



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACIÓN: CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. : 30 DE JULIO DEL 2021
FECHA DE EMISION: 25 DE AGOSTO DEL 2021

REBESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO DE MEZCLAS
AGREGADO - BITUMEN MTC E 517

MUESTRA: **AGREGADO GRUESO**
CANTERA: **VICHO**
ASFALTO: **PEN 85/100**

ADHERENCIA: +95%

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
Jose Santa Cruz Pari
ING CIVIL CIP 59563

NOTA:
MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 30 DE JULIO DEL 2021
FECHA DE EMISION 05 DE AGOSTO DEL 2021

PRUEBA DE ENSAYO ESTANDAR PARA INDICE DE DURABILIDAD
DEL AGREGADO MTC E 214

MUESTRA: **AGREGADO GRUESO**
CANTERA: **VICHO**

PRIMER CICLO

Peso Tambor gr. (C): **1365.00**
Numero de fragmentos: **10.00**
Peso Muestra gr.: **1072.00**
Peso Tambor + Muestra inicial gr. (A): **2437.00**
Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr.(B): **2431.00**

SEGUNDO CICLO

Peso Tambor + Muestra Seca gr.(Wf): **2388**

$$\text{Índice de desleimiento- durabilidad} = \text{SDI}(2) = \frac{Wf - C}{B - C} \times 100$$

SDI(2)= **96.0%**

Agregado: **Alta Durabilidad**

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
José Santa Cruz Pari
ING CIVIL CIP 59563

NOTA:
MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE



LABSUELOS
S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYECTO TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 30 DE JULIO DEL 2021
FECHA DE EMISION 05 DE AGOSTO DEL 2021

PRUEBA DE ENSAYO ESTANDAR PARA INDICE DE DURABILIDAD
DEL AGREGADO MTC E 214

MUESTRA: **AGREGADO FINO**
CANTERA: **VICHO Y CUNYAC**

PRIMER CICLO

Peso Tambor gr. (C): **1365.00**
Numero de fragmentos: **10.00**
Peso Muestra gr.: **912.00**
Peso Tambor + Muestra inicial gr. (A): **2277.00**
Peso Tambor + Muestra Seca despues del ensayo gr.(B): **2275.00**

SEGUNDO CICLO

Peso Tambor + Muestra Seca gr.(Wf): **2262.00**

$$\text{Índice de desleimiento- durabilidad} = \text{SDI}(2) = \frac{Wf - C}{B - C} \times 100$$

SDI(2)= **98.6%**

Agregado: **Alta Durabilidad**

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Jose Santa Cruz Part
ING CIVIL CIP 59563

NOTA:
MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE



**LABSUELOS
S.A.C.**



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS**

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYEC TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION
PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE
CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 25/07/2021
FECHA DE EMISION 25/07/2021

SALES SOLUBLES TOTALES
MTC E - 219 NTP 339.152

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: PIEDRA CHANCADA PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
MUESTRA: VICHO CANTIDAD: 80 Kg

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

DATOS

MUESTRA	DESCRIPCION	Contenido de sales (%)	Contenido de sales (ppm)
VICHO	GP	0.03	297.9

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
.....
José Santa Cruz Pari
ING CIVIL CIP 59563

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE



**LABSUELOS
S.A.C.**



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
AREA DE AGREGADOS**

CLIENTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL
SOLICITANTE SR. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA Y FABIAN AGUILAR ESQUIVEL

PROYEC TESIS: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION
PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRADO DE
CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON.

UBICACION CUSCO
FECHA DE RECEPCION EXP. 25/07/2021
FECHA DE EMISION 25/07/2021

SALES SOLUBLES TOTALES
MTC E - 219 NTP 339.152

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCION: ARENA TRITURADA + ARENA DE RIO PRESENTACION: COSTALILLO BLANCO
MUESTRA: VICHO (80%) Y CUNYAC (20%) CANTIDAD: 30 Kg

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

DATOS

MUESTRA	DESCRIPCION	Contenido de sales (%)	Contenido de sales (ppm)
VICHO (83%) Y CUNYAC (17%)	SP	0.04	397.17

LABSUELOS S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
.....
José Santa Cruz Parri
ING CIVIL CIP 59563

NOTA:

MUESTREO E IDENTIFICACION REALIZADO POR EL SOLICITANTE



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.

• Urb. El Eden Lote C-3 .San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, RPC: 974279249, RPM: #998990111, Nextel: 947285580

Proyecto: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON

Ubicación: CUSCO - CUSCO - CUSCO - CUSCO

Muestra: **BRIQUETAS DE ASFALTO**

Fecha: ABRIL, 2022

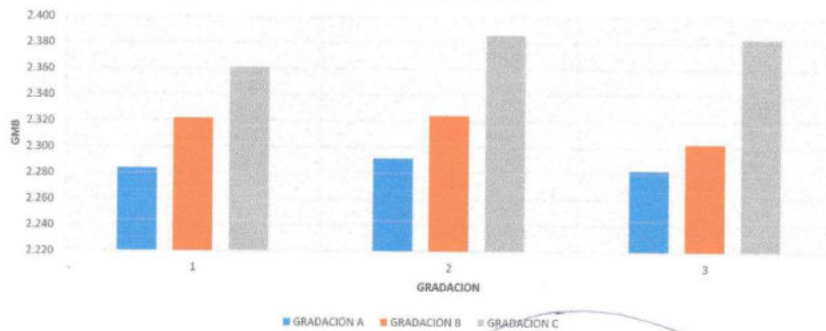
Solicitante: BACH, FABIAN AGUILAR ESQUIVEL Y BACH, JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK AASTHO T166

$$GMB = \frac{WD}{WSSD - WSUB}$$

N°	MUESTRA	DATOS			
		WD	WSUB	WSSD	GMB
		PESO AL AIRE (g)	PESO SUMERGIDO (g)	PESO EN SU CONDICION EN EL AIRE (g)	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK
1	GRADACION A	1530	1108	1778	2.284
2		1542	1112	1785	2.291
3		1536	1118	1791	2.282
PROMEDIO=					2.286
1	GRADACION B	1565	1128	1802	2.322
2		1571	1135	1811	2.324
3		1559	1130	1807	2.303
PROMEDIO=					2.316
1	GRADACION C	1582	1142	1812	2.361
2		1589	1151	1817	2.386
3		1592	1147	1815	2.383
PROMEDIO=					2.377

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK



Ing. Hugo Cuba Benavente
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
 CIP. 126589



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.

- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.

- Urb. El Eden Lote C-3 , San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, RPC: 974279249, RPM: #998990111, Nextel: 947285580

Proyecto: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON

Ubicación: CUSCO - CUSCO - CUSCO - CUSCO

Muestra: **BRQUETAS DE ASFALTO**

Fecha: MAYO, 2022

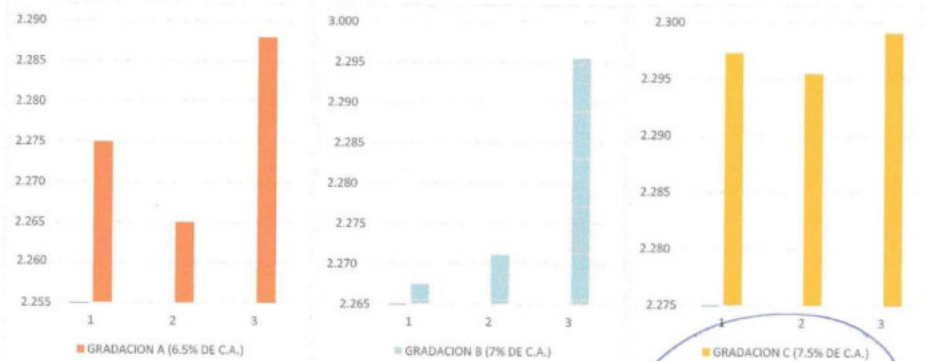
Solicitante: BACH. FABIAN AGUILAR ESQUIVEL Y BACH. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK AASTHO T166

$$GMB = \frac{WD}{WSSD - WSUB}$$

N°	MUESTRA	DATOS			
		WD	WSUB	WSSD	GMB
		PESO AL AIRE (g)	PESO SUMERGIDO (g)	PESO EN SU CONDICION EN EL AIRE (g)	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK
1	GRADACION A (6.5% DE C.A.)	1232	1136	1675	2.286
2		1241	1137	1680	2.285
3		1253	1139	1687	2.286
PROMEDIO=					2.286
1	GRADACION B (7% DE C.A.)	1218	1124	1655	2.294
2		1220	1118	1651	2.289
3		1229	1111	1646	2.297
PROMEDIO=					2.293
1	GRADACION C (7.5% DE C.A.)	1205	1107	1633	2.291
2		1209	1104	1631	2.294
3		1212	1103	1630	2.300
PROMEDIO=					2.295

* C.A. = CEMENTO ASFALTICO



INGEOMAT
Ing. Hugo Cuba Benavente
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 120598



INGEOMAT CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION
DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CALCHHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON

Ubicación: CUSCO-CUSCO-CUSCO

Muestra: ESPECIMENES DE MEZCLAS ASFALTICAS

Solicitante: BACH, FABIAN AGUILAR ESQUIVEL Y BACH, JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA

Ing. Hugo Cuba Benavente
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 129098

N°	DESCRIPCION	% GCR	% FIBRA	TEMPERATURA DE 175 ° C				(D-C)/(B-A)*100		CUMPLE?	
				A	B	C	D	%	PROMEDIO		% MAXIMO
1	MUESTRA SIN FIBRA	0.00 %	0.00 %	35.26 g	132.21 g	1196.36 g	1241.44 g	4.40 %	4.40 %	0.35 %	NO
2	MUESTRA CON FIBRA 79.0.3%	0.00 %	0.30 %	36.65 g	1265.26 g	1199.24 g	1201.85 g	0.21 %	0.20 %	0.35 %	SI
3				41.22 g	1286.11 g	1101.36 g	1103.81 g	0.20 %			SI

N°	DESCRIPCION	% GCR	% FIBRA	TEMPERATURA DE 165 ° C				(D-C)/(B-A)*100		CUMPLE?	
				A	B	C	D	%	PROMEDIO		% MAXIMO
1	MUESTRA SIN FIBRA	0.00 %	0.00 %	39.32 g	1251.21 g	1188.16 g	1250.00 g	4.04 %	4.04 %	0.35 %	NO
2	MUESTRA CON FIBRA 79.0.3%	0.00 %	0.30 %	39.11 g	1352.11 g	1195.36 g	1197.11 g	0.13 %	0.14 %	0.35 %	SI
3				40.51 g	1285.26 g	1199.44 g	1201.33 g	0.14 %			SI



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.

- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.

• Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco. Tlf: 270342, RPC: 974279249, RPM: #998990111, Nextel: 947285580

Proyecto: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON

Ubicación: CUSCO - CUSCO - CUSCO - CUSCO

Muestra: BRIQUETAS DE ASFALTO

Fecha: JUNIO, 2022

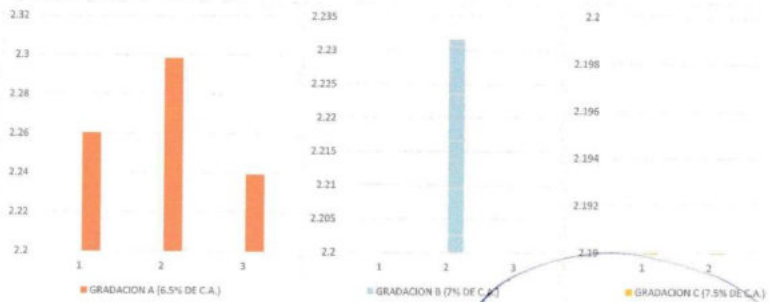
Solicitante: BACH. FABIAN AGUILAR ESQUIVEL Y BACH. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK AASTHO T166

$$GMB = \frac{WD}{WSSD - WSUB}$$

Nº	MUESTRA	DATOS			GMB
		WD	WSUB	WSSD	
		PESO AL AIRE (g)	PESO SUMERGIDO (g)	PESO EN SU CONDICION EN EL AIRE (g)	
1	SIN GSR	1270.01	711.18	1273.1	2.260
2		1222.08	742.41	1274.11	2.298
3		1350.14	753.1	1356.1	2.239
PROMEDIO=					2.266
1	CON GSR AL 5%	1404	793.6	1456.1	2.119
2		1580	874.7	1582.7	2.232
3		1299	654.9	1318.1	1.959
PROMEDIO=					2.103
1	CON GSR AL 10%	1267	655.8	1272.9	2.053
2		1167	619	1175.6	2.097
3		1257	661.7	1262.2	2.093
PROMEDIO=					2.081
1	CON GSR AL 15%	1459	738.5	1470.8	1.992
2		1166	564.4	1149.9	1.991
3		1274	682.6	1284.6	2.116
PROMEDIO=					2.033
1	CON GSR AL 20%	1110	556.1	1122.7	1.959
2		1326	685.2	1336	2.037
3		1075	551	1091.5	1.989
PROMEDIO=					1.995

* C.A. = CEMENTO ASFALTICO



INGEOMAT
INGENIERIA GEOTECNIA Y MATERIALES E.I.R.L.
Ing. Hugo Cuba Benavente
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 120589



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.

INGENIERIA EN MATERIALES P.R.T. Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: 998990111

Proyecto: ANALISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACION PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRON

Ubicación: CUSCO-CUSCO-CUSCO-CUSCO

Muestra: ESPECIMENES DE MEZCLAS ASFALTICAS

Solicitante: BACH. FABIAN AGUILAR ESQUIVEL Y BACH. JORDY JUAN ASCENCIO ABARCA

ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFALTICAS SMA CON CELULOSA ELABORADA DE PAPEL BOND									
CONDICIONES DE LAS MUESTRAS SMA		D	I	P	SI=(2000*P)/(S*I*D)		SI PROMEDIO		
		DIAMETRO DE LA PROBETA	ALTURA DE LA PROBETA	LECTURA DEL DIAL (0.0001")	CARGA MAXIMA	ESFUERZO A LA TENSION		RESISTENCIA PROMEDIO	
		(mm)	(mm)		(N)	(Kpa)	(Mpas)	(Kpa)	(Mpas)
CONDICION SECA	SIN GCR -3	101.25	65.25	824.2	4133.81	398.34	4.06	382.94	3.90
	SIN GCR -4	101.50	70.25	806.7	4047.10	361.34	3.68		
	SIN GCR -6	101.38	66.25	818.4	4105.15	389.13	3.97		
	GCR - 1	101.50	82.75	874.3	4381.14	332.07	3.38	340.55	3.47
	GCR - 4	100.00	82.75	895.2	4484.70	345.02	3.52		
	GCR - 6	101.00	84.75	925.2	4632.62	344.55	3.51		
CONDICION HUMEDA	SIN GCR -1	101.40	67.50	701.3	3526.35	327.99	3.34	336.63	3.43
	SIN GCR -2	101.60	66.60	714.5	3591.82	337.93	3.44		
	SIN GCR -5	101.10	67.00	728.3	3659.80	343.96	3.50		
	GCR - 2	101.60	76.00	765.2	3842.11	308.65	3.15	306.96	3.13
	GCR - 3	101.30	84.30	795.1	3990.09	297.46	3.03		
	GCR - 5	102.50	80.30	811.2	4069.68	314.78	3.21		

RAZON DEL ESFUERZO A LA TENSION (TSR)					CUMPLET
CONDICIONES DE LAS MUESTRAS SMA	DESCRIPCION	SI	TSR	% MIN. PARA SMA	
		ESFUERZO A LA TENSION kpa	COEFICIENTE TSR (%)	(%)	
CONDICION SECA	SIN GCR	382.94	87.91%	70.00%	SI
CONDICION HUMEDA	SIN GCR	336.63			

RAZON DEL ESFUERZO A LA TENSION (TSR)					CUMPLET
CONDICIONES DE LAS MUESTRAS SMA	DESCRIPCION	SI	TSR	% MIN. PARA SMA	
		ESFUERZO A LA TENSION kpa	COEFICIENTE TSR (%)	(%)	
CONDICION SECA	GCR	340.55	90.14%	70.00%	SI
CONDICION HUMEDA	GCR	306.96			


Ing. Hugo Cuba Benavente
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
 CIP. 120599



FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS					
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN					
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SMA - SIN Y CON GCR					
BASADO EN LA NORMA AASHTO T166					
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel		FECHA: 06/10/2022			
Jordy Juan Ascencio Abarca					
LUGAR: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UAC					
MATERIAL: Mezclas Asfálticas S.M.A sin y con Grano de Caucho Reciclado de 6"					
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS					
MUESTRAS	WD	WSUB	WSSD	Gmb	
	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso en su condición SSD en el aire (gr)	Gravedad Específica Bulk del Especimen	
SIN GCR	2262.5	1270.7	2274.2	2.255	
	2266.2	1263.4	2274.3	2.242	
	PROMEDIO			2.248	
CON GCR ÓPTIMO (16.5%)	2051.2	1024.5	2092.9	1.920	
	2034.1	1027.3	2079.6	1.933	
	PROMEDIO			1.926	

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA - C.R. INGENIERIA CIVIL

PRÁCTICAS DE SUELOS Y ASFALTO - INGENIERIA CIVIL.

Ing. Manuel Casapino Jara.



	FORMATOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO POR ESTABILIDAD MARSHALL, DEFORMACIÓN PERMANENTE Y COSTOS DE MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO RESPECTO A UNA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT PATRÓN		
ENSAYO DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO BASADO EN LA NORMA AASHTO T 324		
RESPONSABLES: Fabian Aguilar Esquivel _____ Jordy Juan Ascencio Abarca _____		FECHA: 10/10/2022 _____
LUGAR: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil		
MATERIAL: Mezclas Asfálticas S.M.A sin y con Grano de Caucho Reciclado de 6"		
DEFORMACION PERMANENTE		
DATOS DEL ENSAYO	SMA SIN GCR	SMA CON GCR OPTIMO
Tipo de Muestra	Doble núcleo	Doble núcleo
Diámetro	150 mm	150 mm
Espesor	60 mm	75 mm
Temperatura	50 °C	50 °C
Número de Pasadas	1528	1528
Profundidad de Huella	1.25 mm	12 mm

Inge. Manuel Casapico Seo.



Anexo N°03: Fichas Técnicas



HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

EMULSIÓN ASFÁLTICA LENTA CON POLÍMERO CSS-1P

DESCRIPCIÓN Emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene látex de polímero estireno butadieno (SBR) y una pequeña cantidad de agente emulsificante de rotura lenta. Las pequeñas gotas de asfalto emulsificado son catiónicas (carga positiva).

VENTAJAS Las emulsiones de rotura lenta modificadas con polímero pueden ser utilizadas cuando se requiere una estabilidad adicional de la mezcla ó una mayor ligazón.

APLICACIÓN Recomendada para la preparación de lechadas asfálticas (slurry seal), preparación de mezclas en frío, ya sea en planta ó en sitio.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ENSAYOS	METODO		EMULSIÓN CSS-1P	
	ASTM	MTC	Mínimo	Máximo
Ensayos sobre la emulsión				
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, ssf	D 244	E 403	20	100
Contenido de agua, % volumen	D 244	E 402	—	40
Destilación	- Contenido de asfalto residual, %	D 244	E 401	60
	- Contenido de disolventes, %	D 244	E 401	—
Sedimentación a los 7 días, %	D 244	E 404	—	5
Mezcla con cemento, %	D 244	E 410	—	2
Prueba del tamiz N° 20, %	D 244	E 405	—	0.1
Carga de partícula	D 244	E 407	Positiva	
Ensayos sobre el residuo de emulsión	ASTM	MTC	Mínimo	Máximo
Penetración, 25°C, 100 g, 5s, dmm	D 5	E 304	100	150
Punto de ablandamiento, °C	D 36	E 307	45	—
Ductilidad, 5°C, 5 cm/min, cm	D 113	E 306	10	—
Recuperación Elástica Torsional, 25°C, %	NTL 329*	—	12	—



PRESENTACIÓN

Tarro: 3.5 kg.
Tarro: 18.0 kg.
Tambor: 200 kg.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Utilizar guantes de caucho y gafas de protección para su aplicación.
Mantengase fuera del alcance de los niños.
Consultar hoja de seguridad del producto.

ALMACENAMIENTO

Almacene la emulsión entre 10°C y 60°C. No permita que la emulsión asfáltica se congele. Esto produce la rotura la emulsión, separando el asfalto del agua.
No permita que la emulsión asfáltica sea calentada por encima de los 85°C.
Las temperaturas elevadas evaporan el agua, modificando las características de la emulsión asfáltica.
No permita que la temperatura de la superficie de calentamiento exceda los 100°C, de suceder esto, se producirá la rotura prematura de la emulsión sobre aquella.
No use aire a presión para agitar la emulsión.
Puede causar la rotura de la emulsión. El exceso de mezclado y de bombeo debe evitarse.

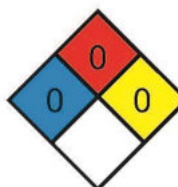
Las indicaciones que anteceden están basadas en ensayos que consideramos seguros y son correctas de acuerdo a nuestra experiencia. Sin embargo, no pudiendo controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

Aconsejamos al usuario determinar previamente si éstos son apropiados para el uso particular propuesto. Nos reservamos el derecho a efectuar cambios a fin de adaptar nuestros productos a tecnología de punta.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGRO

El producto no es una sustancia inflamable.

- Salud : 0
- Inflamabilidad : 0
- Reactividad : 0



Chemical Max S.A.

Mz. A Lt. 7 Asociación fortaleza
Puente Piedra - Lima
Telf.: (0511) 714-9993
Perú
www.asfaltoschemimax.com

Hoja Técnica de Producto
Bitumen Asfáltico Chemimax
Versión: 01/2015



Anexo N°04: Certificados de Calibración



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 261-2021 GLM

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN : 2021-10-29

1. SOLICITANTE : INGEOMAT E.I.R.L

DIRECCIÓN : MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN CUSCO - SAN SEBASTIAN

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA

MARCA : OHAUS

MODELO : SPX6201

NÚMERO DE SERIE : B709757153

ALCANCE DE INDICACIÓN : 6200 g

DIVISIÓN DE ESCALA / RESOLUCIÓN : 0.1 g

DIVISIÓN DE VERIFICACIÓN (e) : 0.1 g

PROCEDENCIA : CHINA

IDENTIFICACIÓN : NO PRESENTA

TIPO : ELECTRÓNICA

UBICACIÓN : LABORATORIO

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2021-10-19

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II; PC - 011 del SNM-INDECOPI, EDICIÓN 4° - ABRIL, 2010.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

LAB. DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE INGENIERÍA S.A. S.R.L
MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN CUSCO - SAN SEBASTIAN

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

G & L LABORATORIO S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.



Gilmer Antonio Huamán Quiroma
Responsable del Laboratorio de Metrología



☎ Teléfono:
(01) 622 - 5814
📱 Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

✉ Correo:
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com
servicios@gyllaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 261-2021 GLM

Página 2 de 3

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	19.4 °C	19.4 °C
Humedad Relativa	36 %	36 %

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de DM - INACAL TOTAL WEIGHT	Pesas (exactitud E2 / M2)	LM - C - 216 - 2020 CM - 2106 - 2020

7. OBSERVACIONES

Para 6200 g la balanza indicó 6200.9 g. Se ajustó y se procedió a su calibración. Los errores máximos permitidos (emp) para esta balanza corresponden a los emp para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 004 - 2010. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático. Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	TIENE
SITEMA DE TRABA	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temp. (°C)	19.4	19.4

Medición N°	Carga L1= 3,000.0 g			Carga L2= 6,000.0 g		
	I(g)	Δ L (mg)	E (mg)	I(g)	Δ L (mg)	E (mg)
1	3,000.2	60	190	5,999.9	60	-110
2	3,000.2	40	210	5,999.9	50	-100
3	3,000.2	60	190	5,999.9	40	-90
4	3,000.2	40	210	5,999.9	50	-100
5	3,000.2	60	190	5,999.9	40	-90
6	3,000.2	50	200	5,999.9	50	-100
7	3,000.2	40	210	5,999.9	40	-90
8	3,000.2	50	200	5,999.9	60	-110
9	3,000.2	60	190	5,999.9	50	-100
10	3,000.2	50	200	5,999.9	40	-90
Máxima			20			
Error permitido ±			300 mg	± 300 mg		



☎ Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

✉ Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.

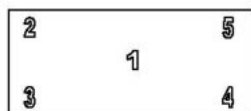


LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 261-2021 GLM

Página 3 de 3



Vista Frontal

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Temp. (°C) Inicial Final
19.4 19.4

Posición de la Carga	Determinación de E ₀				Determinación del Error corregido				
	Carga Mínima (g)	l (g)	Δ L (mg)	E ₀ (mg)	Carga L (g)	l (g)	Δ L (mg)	E (mg)	E _c (mg)
1	1.0	1.0	50	0	2,000.0	1,999.9	50	-100	-100
2		1.0	40	10		1,999.9	40	-90	-100
3		1.0	50	0		1,999.9	50	-100	-100
4		1.0	40	10		1,999.9	40	-90	-100
5		1.0	50	0		1,999.9	50	-100	-100
6		1.0	50	0		1,999.9	50	-100	-100

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido: ± 200 mg

ENSAYO DE PESAJE

Temp. (°C) Inicial Final
19.4 19.4

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				emp (**)
	l (g)	Δ L (mg)	E (mg)	E _c (mg)	l (g)	Δ L (mg)	E (mg)	E _c (mg)	
1.0	1.0	50	0						100
5.0	5.0	50	0	0	5.0	50	0	0	100
10.0	10.0	40	10	10	10.0	40	10	10	100
50.0	50.0	40	10	10	50.0	50	0	0	100
100.0	100.0	50	0	0	100.0	40	10	10	100
1,000.0	1,000.0	40	10	10	1,000.0	50	0	0	200
2,000.0	1,999.9	50	-100	-100	1,999.9	40	-90	-90	200
3,000.0	2,999.9	50	-100	-100	2,999.9	50	-100	-100	300
4,000.0	3,999.9	40	-90	-90	3,999.9	40	-90	-90	300
5,000.0	4,999.9	50	-100	-100	4,999.9	50	-100	-100	300
6,200.0	6,199.9	50	-100	-100	6,199.9	50	-100	-100	300

(**) error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R + 2,104E-08 \times R$$

$$U_R = 2 \sqrt{018E-04 \text{ g}^2 + 8,724E-16 \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza ΔL: Carga Incrementada E: Error en cero E_c: Error corregido

Número de tipo Científico E-xx = 10^{-xx} (Ejemplo: E-05 = 10⁻⁵)



Teléfono: (01) 622 - 5814
Celular: 992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo: laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 263-2021 GLM

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN : 2021-10-29

1. SOLICITANTE : INGEOMAT E.I.R.L

DIRECCIÓN : MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN CUSCO - SAN SEBASTIAN

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA

MARCA : HENKEL

MODELO : NO PRESENTA

NÚMERO DE SERIE : K6013871

ALCANCE DE INDICACIÓN : 1000 g

DIVISIÓN DE ESCALA / RESOLUCIÓN : 0.01 g

DIVISIÓN DE VERIFICACIÓN (e) : 0.01 g

PROCEDENCIA : NO PRESENTA

IDENTIFICACIÓN : NO PRESENTA

TIPO : ELECTRÓNICA

UBICACIÓN : LABORATORIO

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2021-10-19

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II; PC - 011 del SNM-INDECOPI, EDICIÓN 4° - ABRIL, 2010.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

LAB. DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE INGEOMAT E.I.R.L
MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN CUSCO - SAN SEBASTIAN

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

G & L LABORATORIO S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.



Gilmer Antonio Huamán Roguima
Responsable del Laboratorio de Metrología



Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo:
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com
servicios@gyllaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 263-2021 GLM

Página 2 de 3

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	19.0 °C	19.0 °C
Humedad Relativa	36 %	36 %

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de DM - INACAL	Pesas (exactitud E2)	LM - C - 216 - 2020

7. OBSERVACIONES

Para 1000 g la balanza indicó 991.56 g. Se ajustó y se procedió a su calibración. Los errores máximos permitidos (emp) para esta balanza corresponden a los emp para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 004 - 2010. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático. Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	NO TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 500.00 g			Carga L2= 1,000.00 g		
	I(g)	Δ L (mg)	E (mg)	I(g)	Δ L (mg)	E (mg)
1	500.02	4	21	1,000.12	4	121
2	500.02	4	21	1,000.12	4	121
3	500.02	5	20	1,000.12	5	120
4	500.02	5	20	1,000.12	5	120
5	500.02	5	20	1,000.12	5	120
6	500.02	6	19	1,000.12	4	121
7	500.02	4	21	1,000.12	4	121
8	500.02	4	21	1,000.12	5	120
9	500.02	5	20	1,000.12	6	119
10	500.02	4	21	1,000.12	4	121
Medición máxima			2			2
Error permitido	± 30 mg			± 30 mg		



☎ Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

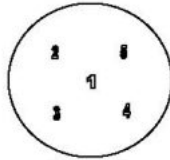
✉ Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



Vista Frontal

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 263-2021 GLM

Página 3 de 3

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Temp. (°C) Inicial 19.0 Final 19.0

Posición de la Carga	Determinación de E ₀				Determinación del Error corregido				
	Carga Mínima* (g)	l(g)	Δ L (mg)	E ₀ (mg)	Carga L (g)	l(g)	Δ L (mg)	E (mg)	E _c (mg)
1	1.00	0.98	5	-20	300.00	300.02	4	21	41
2		0.97	4	-29		300.03	5	30	59
3		0.97	4	-29		300.03	5	30	59
4		0.98	5	-20		300.02	4	21	41
5		0.98	5	-20		300.01	5	10	30

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido: ± 30 mg

ENSAYO DE PESAJE

Temp. (°C) Inicial 19.0 Final 19.0

Carga L(g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				emp(**) ±(mg)
	l(g)	Δ L (mg)	E (mg)	E _c (mg)	l(g)	Δ L (mg)	E (mg)	E _c (mg)	
1.00	1.00	4	1						10
2.00	2.00	5	0	-1	2.00	5	0	-1	10
5.00	5.00	4	1	0	5.00	4	1	0	10
10.00	10.00	4	1	0	10.00	4	1	0	10
50.00	50.00	5	0	-1	50.00	5	0	-1	10
75.00	75.00	4	1	0	75.00	4	1	0	20
100.00	100.02	4	21	20	100.02	4	21	20	20
200.00	200.02	4	21	20	200.02	4	21	20	20
500.00	500.02	4	21	20	500.02	4	21	20	30
800.00	800.02	5	20	19	800.02	5	20	19	30
1,000.00	1,000.10	4	101	100	1,000.10	4	101	100	30

(**) error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 6,694E-08 \times R$$

$$U_R = 2 \sqrt{1,716E-08 \text{ g}^2 + 300E-12 \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza

ΔL: Carga incrementada

E: Error encontrado

E_c: Error corregido

Número de tipo Científico

E-xx = 10^{xx} (Ejemplo: E-05 = 10⁻⁵)



Teléfono: (01) 622 - 5814
Celular: 992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo: laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 262-2021 GLM

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN : 2021-10-29

1. SOLICITANTE : INGEOMAT E.I.R.L

DIRECCIÓN : MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN CUSCO - SAN SEBASTIAN

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA

MARCA : OHAUS

MODELO : R31P30

NÚMERO DE SERIE : 8336030041

ALCANCE DE INDICACIÓN : 30000 g

DIVISIÓN DE ESCALA / RESOLUCIÓN : 1 g

DIVISIÓN DE VERIFICACIÓN (e) : 10 g

PROCEDECENCIA : CHINA

IDENTIFICACIÓN : NO PRESENTA

TIPO : ELECTRÓNICA

UBICACIÓN : LABORATORIO

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2021-10-19

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

G & L LABORATORIO S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII; PC - 001 del SNM-INDECOPI, EDICIÓN 3° - ENERO, 2009.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

LAB. DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE INGEOMAT E.I.R.L.
MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN CUSCO - SAN SEBASTIAN



Gilmer Antonio Huamán Poquioma
Responsable del Laboratorio de Metrología



Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo:
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com
servicios@gyllaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 262 - 2021 GLM

Página 2 de 3

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	19.1 °C	19.1 °C
Humedad Relativa	36 %	36 %

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de DM - INACAL TOTAL WEIGHT	Pesas (exactitud E2 / M1 / M2)	LM - C - 216 - 2020 CM - 2104 - 2020 CM - 2105 - 2020 CM - 2106 - 2020

7. OBSERVACIONES

Para 30000 g. la balanza indicó 29993 g. Se ajustó y se procedió a su calibración. Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud III, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático. Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO".

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	TIENE
SISTEMA DE TRABA	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 15,000 g			Carga L2= 30,000 g		
	I(g)	ΔL(g)	E(g)	I(g)	ΔL(g)	E(g)
1	15,003	0.5	3.0	30,001	0.6	0.9
2	15,003	0.5	3.0	30,001	0.5	1.0
3	15,003	0.5	3.0	30,001	0.5	1.0
4	15,003	0.6	2.9	30,001	0.5	1.0
5	15,003	0.5	3.0	30,001	0.5	1.0
6	15,003	0.5	3.0	30,001	0.6	0.9
7	15,003	0.5	3.0	30,001	0.6	0.9
8	15,003	0.5	3.0	30,001	0.6	0.9
9	15,003	0.5	3.0	30,001	0.5	1.0
10	15,003	0.5	3.0	30,001	0.5	1.0
Error Máximo			0.1			0.1
Error Máximo permitido	± 20 g			± 30 g		



☎ Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

✉ Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C

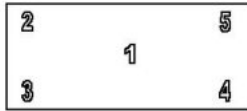


LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 262 - 2021 GLM

Página 3 de 3



Vista Frontal

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E ₀				Determinación del Error corregido				
	Carga mínima (g)	l(g)	ΔL(g)	E ₀ (g)	Carga (g)	l(g)	ΔL(g)	E(g)	E _c (g)
1	10	10	0.5	0.0	10,000	10,001	0.5	1.0	1.0
2		10	0.5	0.0		10,001	0.4	1.1	1.1
3		10	0.5	0.0		10,001	0.5	1.0	1.0
4		10	0.5	0.0		10,001	0.5	1.0	1.0
5		10	0.5	0.0		10,001	0.4	1.1	1.1

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido: ± 20 g

ENSAYO DE PESAJE

Carga L(g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				emp ^(**) ±(g)
	l(g)	ΔL(g)	E(g)	E _c (g)	l(g)	ΔL(g)	E(g)	E _c (g)	
10	10	0.5	0.0	0.0	10	0.5	0.0	0.0	10
20	20	0.5	0.0	0.0	20	0.5	0.0	0.0	10
100	100	0.5	0.0	0.0	100	0.5	0.0	0.0	10
500	500	0.6	-0.1	-0.1	500	0.5	0.0	0.0	10
1,000	1,000	0.5	0.0	0.0	1,000	0.6	-0.1	-0.1	10
5,000	5,000	0.6	-0.1	-0.1	5,000	0.5	0.0	0.0	10
10,000	10,001	0.5	1.0	1.0	10,001	0.5	1.0	1.0	20
15,000	15,001	0.5	1.0	1.0	15,001	0.5	1.0	1.0	20
20,000	20,001	0.6	0.9	0.9	20,001	0.5	1.0	1.0	20
25,000	25,001	0.6	0.9	0.9	25,001	0.6	0.9	0.9	30
30,000	30,001	0.7	0.8	0.8	30,001	0.7	0.8	0.8	30

(**) error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 4,743E-08 \times R$$

$$U_R = 2 \sqrt{1,702E-04 \text{ g}^2 + 045E-12 \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza ΔL: Carga Incrementada E: Error encontrado E₀: Error en cero E_c: Error corregido

Número de tipo Científico E-xx = 10^{-xx} (Ejemplo E-05 = 10⁻⁵)



Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE
METROLOGÍA

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN – LABORATORIO DE TEMPERATURA
Calibration Certificate – Laboratory of Temperature

INSTRUMENTO CARACTERIZADO BAÑO MARÍA DIGITAL
Instrument

Pág. 1 de 3

FABRICANTE PINZUAR LTDA.
Manufacturer

MODELO PA – 77
Model

NÚMERO DE SERIE 337
Identification number

RANGO DE MEDICIÓN 40 °C a 90 °C
Working range

SOLICITANTE INGEOMAT E.I.R.L
Customer

DIRECCIÓN MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN CUSCO - SAN SEBASTIAN
Address

CIUDAD CUSCO
City

FECHA DE CARACTERIZACIÓN 2021 – 10 – 19
Date of characterization

FECHA DE EXPEDICIÓN 2021 – 10 – 29
Date of issue

NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS 03
Number of pages of this certificate and documents attached

FIRMAS AUTORIZADAS
Authorized Signatures

Téc. Gilmar A. Huayan, Poquioma.
Responsable Laboratorio de Metrología



Teléfono:
(01) 622 – 5814
Celular:
992 – 302 – 883 / 962 – 227 – 858

Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



NÚMERO: 288-2021 GLT
Pág. 2 de 3

DETALLES DE LA CARACTERIZACIÓN

INSTRUMENTO CARACTERIZADO BAÑO MARÍA DIGITAL
Método empleado Caracterización Medios Isotermos
Líquido de Trabajo AGUA
Rango Caracterizado 50 °C a 70 °C
División de Escala 5 °C
Ubicación del instrumento LAB. DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE INGEOMAT E.I.R.L.
Patrón(es) utilizados Termómetro Digital
Certificado No. CC – 6319 – 2021
Procedimiento Interno PC-018
Documento de Referencia La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrones calibrados que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990, se usó el procedimiento PC-018: "Calibración de Medios con Aire como Medio Termostático", edición 2, Junio 2009; del SNM-INDECOPI – Perú.

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN

TABLA DE RESULTADOS CALIBRACIÓN DEL INDICADOR			
Temperatura Indicada por el Instrumento Patrón	Temperatura Indicada por el Instrumento bajo calibración	Corrección a la indicación	Incertidumbre de la medición
°C	°C	°C	°C
52.177	50.50	1.68	± 1.3
62.367	60.10	2.27	± 2.2
82.837	80.13	2.70	± 0.89

TABLA DE RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL BAÑO		
Punto Fijo	Estabilidad	Uniformidad
°C	°C	°C
50	0.87	0.4
60	0.48	1.8
70	0.54	0.2

CONDICIONES AMBIENTALES

La caracterización se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales:

Temperatura Máxima	22.4 °C	Humedad Máxima	38 %/Hr
Temperatura Mínima	22.3 °C	Humedad Mínima	38 %/Hr



Teléfono: (01) 622 – 5814
Celular: 992 – 302 – 883 / 962 – 227 – 858

Correo: laboratorio.gylaboratorio@gmail.com servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



LABORATORIO DE
METROLOGÍA

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



NÚMERO: 288-2021 GLT

Pág. 3 de 3

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de la medición esta dada en la tabla de resultados de la página No. 2, para el punto de calibración. Se ha calculado utilizando un factor de cobertura $k = 2$ Para un nivel de confianza aproximado del 95,45 % para una distribución "t-student"

La incertidumbre de medida fue estimada de acuerdo con el documento: **JCGM 100:2008**. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First edition. September 2008.

TRAZABILIDAD

Los resultados de calibración tienen trazabilidad a los patrones nacionales, reportados de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

OBSERVACIONES

1. Los certificados de calibración sin las firmas no tienen validez.
2. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición a intervalos apropiados.
3. Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas No podrá ser reproducido en su totalidad, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
4. Los resultados contenidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
5. Se adjunta la estampilla de calibración No. 288-2021 GLT

Téc. *Gilmer A. Huapari Poquiloma*
Responsable Técnico de Metrología



☎ Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

✉ Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°266-2021 GLT

Página 1 de 4

Fecha de Emisión : 2021-10-29

1. SOLICITANTE : INGEOMAT E.I.R.L

DIRECCIÓN : MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN CUSCO -
SAN SEBASTIAN

2. EQUIPO DE MEDICIÓN: HORNO ELÉCTRICO

MARCA : PINZUAR LTDA.

MODELO : PG-190

NÚMERO DE SERIE : 305

PROCEDENCIA : COLOMBIA

IDENTIFICACIÓN : NO PRESENTA

UBICACIÓN : LABORATORIO

Descripción del Termómetro del Equipo

Tipo : Digital
Alcance de Indicación : 5 °C a 200 °C
División de Escala : 0.1 °C

3. FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

Calibrado el 2021-10-19

La calibración se realizó en el LAB. DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE INGEOMAT E.I.R.L

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrones calibrados que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990, se usó el procedimiento PC-018 "Calibración de Medios con Aire como Medio Termostático", edición 2, Junio 2009, del SNM-INDECOPI - Perú.

5. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

	Inicial	Final
Temperatura °C	16.5	18.9
Humedad Relativa %HR	47	47

6. TRAZABILIDAD

Los resultados de calibración tienen trazabilidad a los patrones nacionales, reportados de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
TOTAL WEIGHT	Termómetro de indicación digital de 10 termocuplas	CC - 6319 - 2021



Téc. Alfonso A. Huamán Rodríguez
Responsable del Laboratorio de Metrología



☎ Teléfono:
(01) 622 - 5814
☎ Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

✉ Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°266-2021 GLT

Página 2 de 4

7. RESULTADOS DE MEDICIÓN

TEMPERATURA DE TRABAJO : 110°C ± 10 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	Indicación termómetros patrones (°C)										T. Prom. (°C)	Tmax-Tmin. (°C)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110.1	108.0	108.3	114.8	109.9	108.8	109.9	108.7	108.3	108.0	108.8	109.4	6.8
02	110.1	108.6	108.9	109.9	110.7	109.9	110.7	110.6	108.9	108.6	109.9	109.7	2.1
04	110.4	108.3	108.5	110.1	110.1	111.0	110.1	110.0	108.5	108.3	111.0	109.6	2.7
06	109.8	108.0	108.3	109.6	109.7	109.8	109.7	109.7	108.3	108.0	109.8	109.1	1.8
08	110.1	108.1	108.4	113.2	109.8	109.8	109.8	109.7	108.4	108.1	109.8	109.5	5.1
10	110.1	108.2	108.5	110.1	109.9	110.1	109.9	109.8	108.5	108.2	110.1	109.3	1.9
12	110.1	108.0	108.4	109.8	109.9	110.0	109.9	109.6	108.4	108.0	110.0	109.2	2
14	110.1	107.9	108.1	109.9	109.9	111.3	109.9	109.6	108.1	107.9	111.3	109.4	3.4
16	110.0	107.7	108.1	109.6	109.5	109.5	109.5	109.4	108.1	107.7	109.5	108.9	1.9
18	110.1	108.9	108.2	109.6	109.4	109.5	109.4	109.5	108.2	108.9	109.5	109.1	1.4
20	110.0	108.0	108.3	114.8	109.9	108.8	109.9	108.7	108.3	108.0	108.8	109.4	6.8
22	110.0	108.6	108.9	109.9	110.7	109.9	110.7	110.6	108.9	108.6	109.9	109.7	2.1
24	110.0	108.3	108.5	110.1	110.1	111.0	110.1	110.0	108.5	108.3	111.0	109.6	2.7
26	110.0	108.0	108.3	114.8	109.9	108.8	109.9	108.7	108.3	108.0	108.8	109.4	6.8
28	110.0	108.6	108.9	109.9	110.7	109.9	110.7	110.6	108.9	108.6	109.9	109.7	2.1
30	110.0	108.3	108.5	110.1	110.1	111.0	110.1	110.0	108.5	108.3	111.0	109.6	2.7
32	110.1	108.0	108.3	109.6	109.7	109.8	109.7	109.7	108.3	108.0	109.8	109.1	1.8
34	110.1	108.1	108.4	113.2	109.8	109.8	109.8	109.7	108.4	108.1	109.8	109.5	5.1
36	110.0	108.2	108.5	110.1	109.9	110.1	109.9	109.8	108.5	108.2	110.1	109.3	1.9
38	110.0	108.0	108.4	109.8	109.9	110.0	109.9	109.6	108.4	108.0	110.0	109.2	2.0
40	110.0	107.9	108.1	109.9	109.9	111.3	109.9	109.6	108.1	107.9	111.3	109.4	3.4
42	110.0	107.7	108.1	109.6	109.5	109.5	109.5	109.4	108.1	107.7	109.5	108.9	1.9
44	110.0	108.9	108.2	109.6	109.4	109.5	109.4	109.5	108.2	108.9	109.5	109.1	1.4
46	110.0	108.0	108.3	114.8	109.9	108.8	109.9	108.7	108.3	108.0	108.8	109.4	6.8
48	110.0	108.6	108.9	109.9	110.7	109.9	110.7	110.6	108.9	108.6	109.9	109.7	2.1
50	110.1	108.3	108.5	110.1	110.1	111.0	110.1	110.0	108.5	108.3	111.0	109.6	2.7
52	110.0	107.7	108.1	109.6	109.5	109.5	109.5	109.4	108.1	107.7	109.5	108.9	1.9
54	110.0	108.9	108.2	109.6	109.4	109.5	109.4	109.5	108.2	108.9	109.5	109.1	1.4
56	110.0	108.0	108.3	114.8	109.9	108.8	109.9	108.7	108.3	108.0	108.8	109.4	6.8
58	110.0	108.6	108.9	109.9	110.7	109.9	110.7	110.6	108.9	108.6	109.9	109.7	2.1
60	110.1	108.3	108.5	110.1	110.1	111.0	110.1	110.0	108.5	108.3	111.0	109.6	2.7
T. PROM.	110.0	108.2	108.4	110.9	110.0	109.9	110.0	109.7	108.4	108.2	109.9	109.4	
T. MAX	110.4	108.9	108.9	114.8	110.7	111.3	110.7	110.6	108.9	108.9	111.3		
T. MIN	109.8	107.7	108.1	109.6	109.4	108.8	109.4	108.7	108.1	107.7	108.8		
DTT	0.6	1.2	0.8	5.2	1.3	2.5	1.3	1.9	0.8	1.2	2.5		

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	114.8	0.3
Mínima Temperatura Medida	107.7	0.3
Desviación de Temperatura en el Tiempo	5.2	0.1
Desviación de Temperatura en el Espacio	2.6	0.3
Estabilidad Medida (±)	2.6	0.04
Uniformidad Medida	6.8	0.3

T. PROM: Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
T. Prom: Promedio de las temperaturas en las diez posiciones de medición en un instante dado.
T. MAX: Temperatura máxima.
T. MIN: Temperatura mínima.
DTT: Desviación de temperatura en el tiempo.



☎ Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

✉ Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°266-2021 GLT

Página 3 de 4

8. OBSERVACIONES

Los resultados obtenidos corresponden al promedio de 31 lecturas por punto de medición considerando, luego del tiempo de estabilización.

Las lecturas se iniciaron luego de un precalentamiento y estabilización de 2 min.

El esquema de distribución y posición de los termocuplas calibrados en los puntos de medición se muestra en la página 4.

(*) Código asignado por G&L LABORATORIO S.A.C.

Para la temperatura de 110°C.

La calibración se realizó sin carga.

El promedio de temperatura durante la medición fue 110 °C.

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

NOTA:

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del equipo durante la calibración. G&L LABORATORIO SAC. no se responsabiliza de ningún perjuicio que pueda derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.

Una copia de este documento será mantenido en archivo electrónico en el laboratorio por un periodo de por lo menos 4 años.

9. FOTOGRAFÍA DEL INTERIOR DEL EQUIPO



Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo:
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com
servicios@gyllaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.

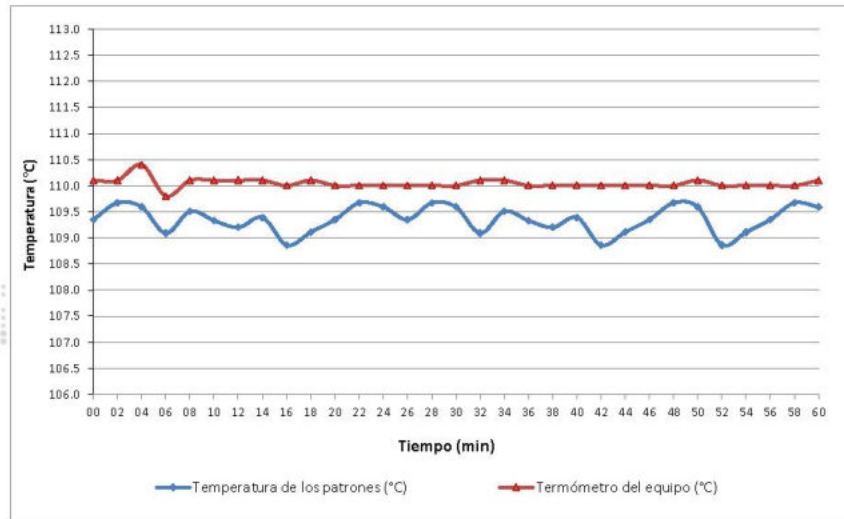


LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

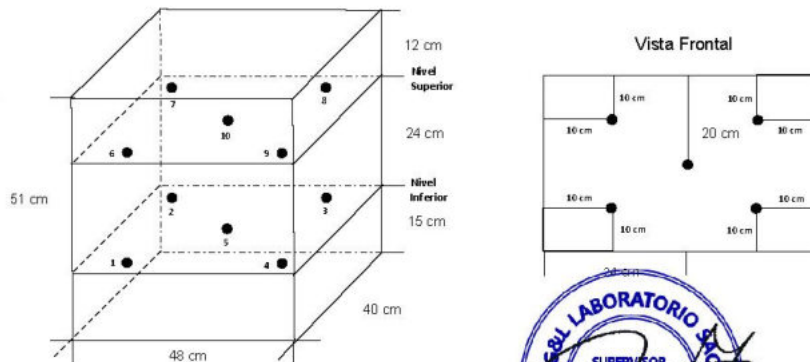


CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°266-2021 GLT
Página 4 de 4

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN EL EQUIPO
TEMPERATURA DE TRABAJO 110°C



UBICACIÓN DE LOS SENSORES



Los sensores se colocaron a 7 cm de altura sobre sus respectivos niveles



☎ Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

✉ Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gyllaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



LABORATORIO DE
METROLOGÍA

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN – LABORATORIO DE FUERZA

Calibration Certificate – Laboratory of Force

OBJETO DE PRUEBA:

Instrument

Rangos

Measurement range

FABRICANTE

Manufacturer

Modelo

Model

Serie

Identification number

Ubicación de la máquina

Location of the machine

Norma de referencia

Normal used reference

Intervalo calibrado

Calibrated interval

Solicitante

Customer

Dirección

Address

Ciudad

City

PATRON(ES) UTILIZADO(S)

Measurement standard

Tipo / Modelo

Type / Model

Rangos

Measurement range

Fabricante

Manufacturer

No. serie

Identification number

Certificado de calibración

Calibration certification

Incertidumbre de medida

Uncertainty of measurement

Método de calibración

Method of calibration

Unidades de medida

Units of measurement

FECHA DE CALIBRACIÓN

Date of calibration

FECHA DE EXPEDICIÓN

Date of issue

NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS

Number of pages of certificate and documents attached

FIRMAS AUTORIZADAS

Authorized signature(s)

Téc. Olimar A. Huanan Pocuima
Responsable Laboratorio de Metrología

MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN

10 000 kgf

Pág. 1 de 3

TEST MARK (INDICADOR) / HUMBOLDT (MARCO)

NO PRESENTA (INDICADOR) / 121020H (MARCO)

LXI3-120924-49 (INDICADOR) / CM-3000-LXIP60 (MARCO)

LAB. DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE INGEOMAT E.I.R.L

NTC – ISO 7500 – 1 (2007 – 07 – 25)

Del 10% al 100% del Rango

INGEOMAT E.I.R.L

MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN CUSCO - SAN SEBASTIAN

CUSCO

T71P / ZSC

150 tn

HUMBOLDT

B504530209 / 5M56609

Nº INF – LE – 436 – 20

0.060 %

Comparación Directa

Sistema Internacional de Unidades (SI)

2021 – 10 – 19

2021 – 10 – 29

3

☎ Teléfono:
(01) 622 – 5814
☎ Celular:
992 – 302 – 883 / 962 – 227 – 858

✉ Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO **255-2021 GLF**
Pág. 2 de 3

Método de Calibración: FUERZA INDICADA CONSTANTE
Tipo de Instrumento: MÁQUINA ELÉCTRICA DIGITAL PARA ENSAYOS DE ASFALTO

DATOS DE LA CALIBRACIÓN

Dirección de la Carga: COMPRESIÓN Resolución: 0.20 kgf

Indicación de la Máquina		Series de medición: Indicación del Patrón				
		1 (ASC)	2 (ASC)	2 (DESC)	3 (ASC)	4 (ASC)
%	kgf	kgf	kgf	No Aplica	kgf	No Aplica
10	10000	10052	10035		10092	
20	20000	20063	20098		20086	
30	30000	30186	30075		30142	
40	40000	40096	40051		40303	
50	50000	50084	50026	No Aplica	50096	No Aplica
60	60000	60041	60094		60018	
70	70000	70008	70078		70042	
80	80000	80096	80043		80011	
90	90000	90013	90098		90067	
100	100000	100010	100034		100742	
Indicación después de Carga:		0	0		0	No Aplica

RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN

Indicación de la Máquina		Errores Relativos Calculados				Resolución Relativa a (%)	Incertidumbre Relativa U± (%) k=2
		Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Accesorios Acces. (%)		
10	10000	-0.59	0.57			0.002	0.343
20	20000	-0.41	0.17			0.001	0.123
30	30000	-0.45	0.37			0.001	0.225
40	40000	-0.37	0.63			0.001	0.393
50	50000	-0.14	0.14	No Aplica	No Aplica	0.000	0.110
60	60000	-0.08	0.13			0.000	0.101
70	70000	-0.06	0.10			0.000	0.089
80	80000	-0.06	0.11			0.000	0.092
90	90000	-0.07	0.09			0.000	0.088
100	100000	-0.26	0.73			0.000	0.484
Error Relativo de Cero fo (%)		0.00	0.00	0.00	0.00	No Aplica	

Técnico de Calibración: Euler Tiznado Becerra

CONDICIONES AMBIENTALES

La calibración se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales:

Temperatura Mínima: 19.8 °C
Temperatura Máxima: 20.9 °C

Humedad Mínima: 36.0 %Hr
Humedad Máxima: 42.0 %Hr



Teléfono: (01) 622 - 5814
Celular: 992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo: laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE METROLOGÍA CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO 255-2021 GLF

Pág. 3 de 3

CLASIFICACIÓN DE MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN

Errores relativos absolutos máximos hallados					
Exactitud q(%)	Repetibilidad b(%)	Reversibilidad v(%)	Accesorios aces(%)	Cero fe(%)	Resolución a(%) en el 20%
0,45	0,73	No Aplica	No Aplica	0,00	0,001

De acuerdo con los datos anteriores y según las prescripciones de la norma técnica Peruana NTC-ISO 7500-1, la máquina de ensayos se clasifica:

CLASE 1 Desde el 20%

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Procedimiento de calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables de SI calibrados en las instituciones del LEDI-PUCP tomando como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción / compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza" - Julio 2006.


PATRONES DE REFERENCIA

El laboratorio de Metrología de G & L LABORATORIO S.A.C. asegura el mantenimiento y la trazabilidad de nuestra Celda de Carga HBM, #Serie: B504530209 / 5M56609, Patrón utilizado Celda de carga de 150 t. con incertidumbre del orden de 0,060 % con INFORME TÉCNICO LEA - PUCP, INF - LE - 436 - 20.

OBSERVACIONES .

1. Se realizó una inspección general de la máquina encontrándose en buen estado de funcionamiento
2. Los certificados de calibración sin las firmas no tienen validez .
3. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "El tiempo entre las verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses." (NTC-ISO 7 500-1)
4. "En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes." (NTC-ISO 7 500-1)
5. Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
6. Los resultados contenidos parcialmente en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
7. La calibración se realizó bajo condiciones establecidas en la NTC-ISO 7 500 - 1 de 2007, numeral 6,4,2. La cual especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10 °C y 35 °C; con una variación máxima de 2 °C durante cada serie de medición.
8. Se adjunta con el certificado la estampilla de calibración No. 255-2021 GLF

FIRMAS AUTORIZADAS


Téc. Gilmer A. Huaman Poquioma
Responsable Laboratorio de Metrología



☎ Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

✉ Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



CERTIFICADO

SERVICIO DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

1003340

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°: LL-831-2022

Expediente N° : 2324 - 2022

Página : 1 de 2

Fecha de emisión : 2022 - 05 - 19

- SOLICITANTE** : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
DIRECCIÓN : Mz. A Lote 5, Urb. Ingeniería Larapa Grande, San Jerónimo, Cusco, Cusco.
- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN** : TRANSDUCTOR LINEAL
MARCA : NOVOTECHNIK
MODELO : TR-0025
N° DE SERIE : 023261
IDENTIFICACIÓN : No indica
ALCANCE DE INDICACIÓN : 0 mm a 25 mm
DIVISIÓN DE ESCALA : 0,001 mm
TIPO DE INDICACIÓN : Digital
PROCEDENCIA : Alemania
UBICACIÓN : Laboratorio de Pavimentos y Asfalto

3. FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN.
La calibración se realizó el día 16 de Mayo de 2022 en las instalaciones de UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

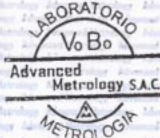
4. MÉTODO DE CALIBRACIÓN.
La calibración se realizó por comparación directa tomando como referencia la "PC-014: Procedimiento para la Calibración de Comparadores utilizando Bloques Patrón de Longitud", Edición 3 - 2019 del INACAL-DM y la norma DIN 878 - 1983.

5. TRAZABILIDAD.
Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a patrones nacionales y/o internacionales, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

PATRÓN DE TRABAJO	MARCA	MODELO	N° DE CERTIFICADO	TRAZABILIDAD A LOS PATRONES DE
BLOQUES PATRÓN DE LONGITUD	MITUTOYO	BM1-56-0/YJ	LLA-C-041-2022	INACAL-DM

6. CONDICIONES AMBIENTALES.
La calibración se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales:
Temperatura : Inicial : 17,0 °C ; Final : 16,9 °C
Humedad Relativa : Inicial : 43,0 %H.R. ; Final : 42,0 %H.R.

7. OBSERVACIONES.
Para una mejor aproximación de la lectura, la división de escala del reloj comparador se ha subdividido en 5 partes. Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto. Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento. Para el cálculo de la incertidumbre de medición se utilizó un factor de cobertura k=2 que corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente 95 %. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO". ADVANCED METROLOGY S.A.C. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto ó inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento. La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición. El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.



Lic. César Toledo Baca
C.F.P. N°: 0484
Gerente Técnico



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE ADVANCED METROLOGY SAC

Jr. Tnte. Aristides del Carpio N° 1626 Urb. Los Cipreses - Cercado de Lima, Lima - Perú Sucursal: Jr. Recuay 504 - Breña
Tel.: (511) 564-5492 / 5640612 / 5645937 / 6840902 Cel.: 990381037 / 958800968 / 994194670 / 981167242 / 932113476
E-mail: ventas@ametrology.pe / www.ametrology.com



SERVICIO DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

Certificado N° : LL-B31-2022

Página : 2 de 2

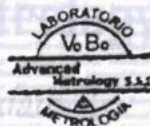
8. RESULTADOS OBTENIDOS.

Valor Patrón (mm)	Indicación del Instrumento (mm)	Error de Medición (µm)
0,500	0,500	0
1,000	1,000	0
2,000	2,000	0
5,000	5,001	1
8,000	8,000	0
10,000	10,000	0
12,000	12,000	0
15,000	15,001	1
20,000	20,002	2
25,000	25,002	2

Valor Patrón (mm)	Error de Repetibilidad (µm)
20,000	1

Incertidumbre de Medición : 2 µm

FIN DEL DOCUMENTO



PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE ADVANCED METROLOGY SAC

Jr. Nte. Aristides del Carpio N° 1626 Urb. Los Cipreces - Cercado de Lima, Lima - Perú Sucursal: Jr. Recuay 504 - Breña
Tel.: (511) 564-5492 / 5640612 / 5645937 / 6840902 Cel.: 990381037 / 958800968 / 994194670 / 981167242 / 932113476
E-mail: ventas@ametrology.pe / www.ametrology.com



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Laboratorio de Longitud y Angulo

Certificado de Calibración

LLA - C - 041 - 2022

Consistente con las capacidades de medida y
Calibración (CMC – MRA)

Página 1 de 7

Expediente	1046314
Solicitante	ADVANCED METROLOGY S.A.C
Dirección	Jr. Recuay N° 504 - Breña
Instrumento de Medición	BLOQUES PATRON DE LONGITUD
Longitud Nominal	0,5 mm a 100 mm
Grado	0 (*)
Marca	MITUTOYO
Modelo	BM1-56-0/YJ (*)
Número de Serie	1904582 (*)
Cantidad	15
Material	ACERO
Fecha de Calibración	2022-04-25 al 2022-04-27



Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Este certificado es consistente con las capacidades que se incluyen en el Apéndice C del MRA elaborado por el CIPM. En el marco del MRA, todos los institutos participantes reconocen entre sí la validez de sus certificados de calibración y medición para las magnitudes, alcances e incertidumbres de medición especificados en el Apéndice C (para más detalles ver <http://www.bipm.org>).

This certificate is consistent with the capabilities that are included in Appendix C of the MRA drawn up by the CIPM. Under the MRA, all participating institutes recognize the validity of each other's calibration and measurement certificates for the quantities, ranges and measurement uncertainties specified in Appendix C (for details see <http://www.bipm.org>).

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL.
Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.

Responsable del área

Responsable del laboratorio



Firmado digitalmente por DE LA CRUZ GARCIA Leonidas FAU 00000283015 soft 6:09pm 2022-04-29 15:52:33



Firmado digitalmente por CANO URIBE Daniel Adolfo FAU 00000283015 soft Fecha: 2022-04-29 14:36:26

Dirección de Metrología

Dirección de Metrología

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Dirección de Metrología.
Calle Las Camelias N° 817, San Isidro, Lima – Perú
Telf.: (01) 640-8820 Anexo 1501
email: metrologia@inacal.gob.pe
Web: www.inacal.gob.pe

