

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para
la durabilidad de mezclas asfálticas**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Eric Anderson Quispe Delgado

ASESOR

Anibal Teodoro Diaz Orrego

<https://orcid.org/0000-0003-2861-4015>

Chiclayo, 2025

**Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como
filler para la durabilidad de mezclas asfálticas**

PRESENTADA POR
Eric Anderson Quispe Delgado

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Manuel Alejandro Borja Suarez
PRESIDENTE

Angel Alberto Lorren Palomino
SECRETARIO

Anibal Teodoro Diaz Orrego
VOCAL

Dedicatoria

A mis padres, Olga Delgado y Diógenes Quispe, por ser unas excelentes personas y darme fuerza, motivación y resiliencia frente a todas las adversidades, que con sus enseñanzas he sabido responder asertivamente. Asimismo, va dedicado a mí mismo, por nunca rendirme y llegar hasta esta instancia, habiendo adquirido hábitos, valores y conocimientos que reflejan la persona que soy ahora.

Agradecimientos

A mis padres, por apoyarme en cada decisión, victoria y derrota, tanto en lo académico como en lo personal. A mi asesor, que con su experiencia me brindó consejos valiosos y acertados para desarrollar eficazmente la investigación. Al mismo tiempo, a todas las personas que directa o indirectamente brindaron su apoyo mediante actos y palabras de aliento para lograr terminar dicha tesis.

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	vbook.pub Fuente de Internet	1%
7	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%

Índice

Resumen	14
Abstract	15
Introducción.....	16
Revisión de literatura	19
Materiales y métodos	47
Resultados	76
Discusiones	95
Conclusiones	98
Recomendaciones	99
Referencias.....	100
Anexos	103

Lista de Tablas

Tabla 1: Análisis de porcentajes de asfalto según antecedentes	48
Tabla 2: Cantidad de muestras MAC Convencional.....	49
Tabla 3: Número de tratamientos MAC Modificada	50
Tabla 4: Tratamientos MAC óptimos.....	50
Tabla 5: Cantidad de muestras MAC modificada	51
Tabla 6: Cantidad de muestras Ensayo Lottman Modificado	51
Tabla 7: Cantidad de muestras Ensayo Cántabro.....	52
Tabla 8: Cantidad de muestras totales.....	52
Tabla 9: Cuadro de operacionalización de variables.....	53
Tabla 10: Datos para Absorción.....	55
Tabla 11: Datos para Límite Líquido y Límite Plástico.....	56
Tabla 12: Datos para Absorción.....	57
Tabla 13: Datos para Desgaste por Abrasión	57
Tabla 14: Datos para Durabilidad al MgSO ₄	58
Tabla 15: Datos para Durabilidad al MgSO ₄	59
Tabla 16: Datos para Partículas Chatas y Alargadas.....	59
Tabla 17: Datos para Determinar Partículas con una, dos o más Caras Fracturadas	60
Tabla 18: Datos para Obtener la Cantidad de Sales Solubles	60
Tabla 19: Datos para Obtener la Cantidad de Sales Solubles	61
Tabla 20: Datos para obtener el Equivalente de Arena.....	62
Tabla 21: Datos para determinar el azul de metileno.....	63
Tabla 22: Datos para Análisis y Curva Granulométrica	63
Tabla 23: Datos de MAC Convencional - 4.5% CA.....	64
Tabla 24: Datos de MAC Convencional - 5% CA.....	64
Tabla 25: Datos de MAC Convencional - 5.5% CA.....	64
Tabla 26: Datos de MAC Convencional - 6% CA.....	65

Tabla 27: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_80% Cal – 20% Polvo Residual	65
Tabla 28: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_60% Cal – 40% Polvo Residual	65
Tabla 29: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_50% Cal – 50% Polvo Residual	65
Tabla 30: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_40% Cal – 60% Polvo Residual	66
Tabla 31: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_20% Cal – 80% Polvo Residual	66
Tabla 32: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_100% Polvo Residual	66
Tabla 33: Datos MAC Modificada – 5% CA_80% Cal – 20% Polvo Residual	66
Tabla 34: Datos MAC Modificada – 5% CA_60% Cal – 40% Polvo Residual	67
Tabla 35: Datos MAC Modificada – 5% CA_50% Cal – 50% Polvo Residual	67
Tabla 36: Datos MAC Modificada – 5% CA_40% Cal – 60% Polvo Residual	67
Tabla 37: Datos MAC Modificada – 5% CA_20% Cal – 80% Polvo Residual	67
Tabla 38: Datos MAC Modificada – 5% CA_100% Polvo Residual	68
Tabla 39: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_80% Cal - 20% Polvo Residual	68
Tabla 40: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_60% Cal - 40% Polvo Residual	68
Tabla 41: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_50% Cal - 50% Polvo Residual	68
Tabla 42: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_40% Cal - 60% Polvo Residual	69
Tabla 43: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_20% Cal - 80% Polvo Residual	69
Tabla 44: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_100% Polvo Residual	69
Tabla 45: Datos MAC Modificada – 6% CA_80% Cal - 20% Polvo Residual	69
Tabla 46: Datos MAC Modificada – 6% CA_60% Cal - 40% Polvo Residual	70
Tabla 47: Datos MAC Modificada – 6% CA_50% Cal - 50% Polvo Residual	70
Tabla 48: Datos MAC Modificada – 6% CA_40% Cal - 60% Polvo Residual	70
Tabla 49: Datos MAC Modificada – 6% CA_20% Cal - 80% Polvo Residual	70
Tabla 50: Datos MAC Modificada – 6% CA_100% Polvo Residual	71
Tabla 51: Datos MAC Convencional – RICE	71
Tabla 52: Datos MAC Modificada – RICE_80% Cal – 20% Polvo Residual	72
Tabla 53: Datos MAC Modificada – RICE_60% Cal – 40% Polvo Residual	72

Tabla 54: Datos MAC Modificada – RICE_50% Cal – 50% Polvo Residual	72
Tabla 55: Datos MAC Modificada – RICE_40% Cal – 60% Polvo Residual	72
Tabla 56: Datos MAC Modificada – RICE_20% Cal – 80% Polvo Residual	73
Tabla 57: Datos MAC Modificada – RICE_100% Polvo Residual	73
Tabla 58: Datos Ensayo Cántabro – MAC Convencional Óptima.....	74
Tabla 59: Datos Ensayo Cántabro – MAC Modificada Óptima	74
Tabla 60: Datos Test de Lottman Modificado - MAC Convencional Óptima.....	75
Tabla 61: Datos Test de Lottman Modificado – MAC Modificada Óptima.....	75
Tabla 62: Composición Química del Polvo de Desecho de Piedra Chancada.....	76
Tabla 63: Resultados de la Calidad del Agregado Grueso - Cantera Tres Tomas - Ferreñafe	76
Tabla 64: Resultados de la Calidad del Agregado Fino - Cantera La Victoria - Pátapo.....	77
Tabla 65: Combinación de Agregados que compondrán la MAC	77
Tabla 66: Diseño de Mezcla para MAC.....	78
Tabla 67: Rice MAC Convencional	78
Tabla 68: Resultados con las Propiedades Óptimas de la MAC Convencional.....	79
Tabla 69: Rice MAC Modificada_80% Cal – 20% polvo Residual	80
Tabla 70: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada_80% Cal – 20% Polvo Residual.....	81
Tabla 71: Rice MAC Modificada_60% Cal – 40% Polvo Residual	81
Tabla 72: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada_60% Cal – 40% Polvo Residual.....	82
Tabla 73: Rice MAC Modificada_50% Cal – 50% Polvo Residual	83
Tabla 74: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada_50% Cal – 50% Polvo Residual.....	84
Tabla 75: Rice MAC Modificada_40% Cal – 60% Polvo Residual	84
Tabla 76: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada_40% Cal – 60% Polvo Residual.....	85
Tabla 77: Rice MAC Modificada_20% Cal – 80% Polvo Residual	85

Tabla 78: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada_20% Cal – 80% Polvo Residual.....	86
Tabla 79: Rice MAC Modificada_100% Polvo Residual	87
Tabla 80: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada_100% Polvo Residual	88
Tabla 81: Resultados Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste – MAC Convencional Óptima.....	89
Tabla 82: Resultados Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste – MAC Modificada Óptima	89
Tabla 83: Resultados Test de Lottman Modificado – MAC Convencional Óptima.....	90
Tabla 84: Resultados Test de Lottman Modificado – MAC Modificada Óptima.....	91
Tabla 85: Aporte por m3 para Preparación de MAC Convencional	92
Tabla 86: Costo por m3 para Preparación de MAC Convencional.....	92
Tabla 87: Análisis de Precios Unitarios - MAC Convencional	93
Tabla 88: Aporte por m3 para Preparación de MAC Modificada.....	93
Tabla 89. Costo por m3 para Preparación de MAC Modificada.....	93
Tabla 90: Análisis de Precios Unitarios – MAC Modificada.....	94
Tabla 91: Presupuesto por m2 de Mezcla Asfáltica.....	94

Anexos

Anexo 1: Validación de Ensayos de Laboratorio.....	103
Anexo 2: Informe de Laboratorio Ensayo Abrasión Los Ángeles al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5mm (1 ½’’).....	104
Anexo 3: Informe de Laboratorio Ensayo Durabilidad al Sulfato de Sodio y al Sulfato de Magnesio – Agregado Grueso.....	105
Anexo 4: Informe de Laboratorio Ensayo Durabilidad al Sulfato de Sodio y al Sulfato de Magnesio – Agregado Fino.....	106
Anexo 5: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos y Gruesos.....	107
Anexo 6: Informe de Laboratorio Ensayo Azul de Metileno.....	108
Anexo 7: Informe de Laboratorio Ensayo Índice de Plasticidad Malla N°200.....	109
Anexo 8: Informe de Laboratorio Ensayo Índice de Plasticidad Malla N°40.....	110
Anexo 9: Informe de Laboratorio Ensayo Equivalente de Arena.....	111
Anexo 10: Informe de Laboratorio Ensayo Sales Solubles en Agregados para Pavimentos Flexibles – Agregado Fino.....	112
Anexo 11: Informe de Laboratorio Ensayo Sales Solubles en Agregados para Pavimentos Flexibles – Agregado Grueso.....	113
Anexo 12: Informe de Laboratorio Ensayo para Determinar el Porcentaje de Caras Fracturadas en Agregado Grueso.....	114
Anexo 13: Informe de Laboratorio Ensayo Partículas Chatas y Alargadas en Agregado Grueso.....	115
Anexo 14: Informe de Laboratorio Ensayo Análisis Granulométrico en Agregados Gruesos y Finos.....	116
Anexo 15: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Convencional_4.5% CA.....	117
Anexo 16: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Convencional_5% CA.....	118
Anexo 17: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Convencional_5.5% CA.....	119
Anexo 18: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Convencional_6% CA.....	120
Anexo 19: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Convencional.....	121
Anexo 20: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Convencional.....	122

Anexo 21: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 4.5% CA	123
Anexo 22: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5% CA	124
Anexo 23: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 5.5% CA	125
Anexo 24: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 6% CA	126
Anexo 25: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada	127
Anexo 26: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada.....	128
Anexo 27: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 4.5% CA	129
Anexo 28: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 5% CA	130
Anexo 29: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 5.5% CA	131
Anexo 30: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 6% CA	132
Anexo 31: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada	133
Anexo 32: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada.....	134
Anexo 33: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 4.5% CA	135
Anexo 34: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 5% CA	136
Anexo 35: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 5.5% CA	137
Anexo 36: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_ 6% CA	138
Anexo 37: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada	139

Anexo 38: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada.....	140
Anexo 39: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_4.5% CA	141
Anexo 40: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5% CA	142
Anexo 41: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5.5% CA	143
Anexo 42: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_6% CA	144
Anexo 43: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada	145
Anexo 44: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada.....	146
Anexo 45: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_4.5% CA	147
Anexo 46: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5% CA	148
Anexo 47: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5.5% CA	149
Anexo 48: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_6% CA	150
Anexo 49: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada	151
Anexo 50: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada.....	152
Anexo 51: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_4.5% CA	153
Anexo 52: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5% CA	154
Anexo 53: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5.5% CA	155
Anexo 54: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_6% CA	156

Anexo 55: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada.....	157
Anexo 56: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada	158
Anexo 57: Informe de Laboratorio – Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste para Mezclas Bituminosas.....	159
Anexo 58: Informe de Laboratorio – Test de Lottman Modificado_MAC Convencional	160
Anexo 59: Informe de Laboratorio – Test de Lottman Modificado_MAC Modificada	161
Anexo 60: Informe de Laboratorio Ensayo Químico Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X.....	162

Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar la influencia del uso de polvo de desecho de piedra chancada como filler en una mezcla asfáltica PEN 60/70, evaluando su desempeño frente a la susceptibilidad al agua y el desgaste por abrasión, ya que, los pavimentos flexibles han experimentado una reducción de su durabilidad al estar sometidos a condiciones climáticas y cargas de tráfico desfavorables, ocasionando fallas funcionales y estructurales. La metodología incluyó un Análisis de Varianza Unifactorial (ANOVA) para obtener un tamaño de muestra representativo, asimismo, la caracterización de agregados y el filler propuesto para luego determinar el porcentaje óptimo de asfalto y polvo residual en las mezclas convencional y modificada, de la mano de ensayos normados como Resistencia Marshall, Test de Lottman Modificado y Cántabro, siguiendo especificaciones técnicas establecidas. Los resultados mostraron que la mezcla modificada con polvo de desecho de piedra chancada mejoró su resistencia al daño por humedad, con un TSR de 85.40%, en comparación con el 81.01% de la mezcla convencional. Además, la resistencia al desgaste fue superior en el concreto bituminoso modificado, con un 6.80% frente al 9.56% del convencional. Por otro lado, desde una perspectiva económica, la mezcla modificada resultó más rentable, con un ahorro de S/. 15.80 por metro cúbico en su producción y S/. 1.42 por metro cuadrado de puesta en carpeta asfáltica.

Palabras clave: Polvo de desecho de piedra chancada; susceptibilidad al agua; filler; mezcla asfáltica.

Abstract

The objective of this research was to analyze the influence of using crushed stone waste powder as filler in a PEN 60/70 asphalt mixture, evaluating its performance against moisture susceptibility and abrasion wear. Flexible pavements have experienced a reduction in durability when exposed to unfavorable climatic conditions and traffic loads, causing both functional and structural failures. The methodology included a One-Way Analysis of Variance (ANOVA) to obtain a representative sample size, as well as the characterization of aggregates and the proposed filler to then determine the optimal asphalt and residual powder content in both conventional and modified mixtures, using standardized tests such as Marshall Stability, Modified Lottman Test, and Cantabro, following established technical specifications. The results showed that the modified mixture with crushed stone waste powder improved its resistance to moisture damage, with a TSR of 85.40%, compared to 81.01% for the conventional mixture. Additionally, the modified bituminous concrete had superior wear resistance, with 6.80% compared to 9.56% for the conventional one. From an economic perspective, the modified mixture was more cost-effective, with a saving of S/. 15.80 per cubic meter in production and S/. 1.42 per square meter of asphalt pavement placement.

Keywords: Crushed stone waste powder; moisture susceptibility; filler; asphalt mixture

Introducción

Los pavimentos desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de un país al facilitar la movilidad, la comunicación y las actividades comerciales de las personas. La calidad y el estado de los pavimentos son determinantes para llevar a cabo estas actividades de manera eficiente. Sin embargo, a lo largo de los años, en particular los pavimentos flexibles, experimentan una disminución en su vida útil debido a la exposición de condiciones climáticas desfavorables como Fenómeno El Niño, y a su vez las crecientes demandas de tráfico. La presencia de agua puede ocasionar patologías como el “stripping”, piel de cocodrilo o grietas en bloque afectando la durabilidad de la estructura.

Desde otra perspectiva, en Culiacán, México, el fuerte flujo de agua provocado por las lluvias, junto con un drenaje y alcantarillado inadecuados son los causantes de la erosión de la capa asfáltica en las calles de dicha ciudad manifestados en baches y megabaches. Y es que, el docente de la Facultad de Ingeniería Culiacán de la Universidad Autónoma de Sinaloa, manifiesta que el agua se empieza a concentrar y debilita la estructura del pavimento, sumado con las cargas de tránsito, se comienza a ver los desprendimientos de la carpeta de rodadura [19].

Debido a factores ambientales, especialmente la humedad, se genera daños a las mezclas asfálticas produciendo la separación del asfalto del agregado pétreo. En la mayoría de los pavimentos se ven porciones casi rectangulares llamadas grietas en bloque que son causadas por la contracción de la mezcla asfáltica a causa de los cambios climáticos diarios [7].

[4] menciona que la humedad disminuye la rigidez del ligante o masilla mediante una difusión de humedad y deteriora la unión adhesiva entre el ligante o masilla y partículas de agregado, manifestándose en desprendimientos de la carpeta asfáltica. En relación con lo anterior, se puede decir que las mezclas bituminosas mayormente fallan primero debido al daño por humedad que por las cargas repetidas de los vehículos.

Asimismo, [2] indica que la mayoría de las investigaciones intentan solucionar los problemas de durabilidad incrementando el contenido de asfalto en la mezcla, envolviendo los agregados y disminuyendo los vacíos, no obstante, un exceso de cemento asfáltico puede ocasionar exudaciones y escurrimiento, sin tomar en cuenta el coste alto que tomaría esto. Estas pruebas aisladas no toman en cuenta la interacción árido – ligante y la influencia del filler que transforma enormemente el comportamiento de la capa bituminosa. Entonces, si se desea saber si una mezcla es resistente a la humedad se debe tomar en cuenta la adhesión entre árido y cemento asfáltico.

Por otro lado, en las canteras se obtienen agregados esenciales para la construcción, como piedra triturada, arena y confitillo. Sin embargo, los procesos necesarios para obtener estos materiales generan una cantidad significativa de residuos, que a menudo terminan depositados en vertederos o áreas periféricas de las ciudades. En Chota, el propietario de la cantera “Pingobamba Bajo El Toril” informa que, del proceso de trituración de piedra, se produce un sobrante que no tiene ningún uso constructivo, ya que más del 50% del material tiene un tamaño menor o igual a 100 micrómetros [5]. Considerando lo anterior, actualmente existe una tendencia creciente hacia la utilización de materiales residuales en la construcción sostenible. Por ello, en el marco de esta investigación, se explora la posibilidad de emplear el polvo residual resultante de la trituración de piedra como filler en lugar de los tradicionales, como la cal y el cemento, para la elaboración de una mezcla asfáltica PEN 60/70.

Esta propuesta puede generar ventajas técnicas ya que la adición propuesta puede resultar mejor que el filler convencional, [3] menciona la importancia de la naturaleza eléctrica en la relación relleno – ligante; es decir, cuando este está constituido por materiales electropositivos presenta una mejor adhesividad con los asfaltos y aporta una mayor rigidez. El polvo residual de piedra chancada presenta esta propiedad ya que está compuesto generalmente de calcita. Por tanto, es necesario corroborar si influye en la susceptibilidad al agua de la mezcla asfáltica porque según [4] la falla puede ocurrir por la reducción de rigidez del ligante o masilla.

De igual manera, en lo que respecta a lo económico, la ventaja radica en la disponibilidad y costo al que se puede adquirir. Esto se debe a que se evita el costoso proceso de cocción a altas temperaturas necesario para convertir la piedra caliza (CaCO_3) en cal viva (CaO) y a su vez en cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) con la acción del agua. En lugar de adquirir cal en sacos con pesaje específico, el material residual propuesto se puede obtener de manera conveniente rentable por metro cúbico, ya que generalmente no se le da un uso directo en otras aplicaciones constructivas.

Desde el punto de vista ambiental también hay beneficio ya que, reutilizar materiales reciclados como el polvo de desecho de la piedra triturada en la construcción de pavimentos asfálticos no solo es una elección sostenible, sino que también ayuda a conservar los recursos a largo plazo y reducir el impacto ambiental, porque minimiza la necesidad de extraer y procesar más materias primas, y también en el impacto ambiental porque reduce la acumulación de residuos sólidos en botaderos. Además, se reducen las emisiones de CO_2 al evitar el proceso de producción de cal viva a partir de la piedra caliza que implica cocción a altas temperaturas en hornos especiales.

En síntesis, por lo expresado anteriormente, el problema de investigación radica principalmente en que las carpetas asfálticas al estar expuestas a la humedad en muchas ocasiones presentan fallas como desprendimientos, piel de cocodrilo, y grietas en bloque. Debido a que, el agua entra por las paredes intersticiales entre árido y ligante, ocasionado una desunión entre estos, produciéndose así las fallas mencionadas y afectando su durabilidad. Por eso, se propone el uso de polvo residual de la trituración de piedra como filler en una mezcla asfáltica PEN 60/70, fomentando así la siguiente interrogante de investigación: ¿Cuál es la influencia de la adición del polvo de desecho de piedra chancada en la susceptibilidad al agua de una mezcla asfáltica PEN 60/70? Por último, para el problema y pregunta de investigación planteados, la hipótesis planteada que tratará de resolverlos indica que la adición de polvo de desecho de piedra chancada en el filler de una mezcla asfáltica PEN 60/70 cambia positivamente su susceptibilidad a la humedad.

El objetivo general de la presente tesis es analizar la influencia del uso de polvo de desecho de piedra chancada como filler en la durabilidad de una mezcla asfáltica PEN 60/70. Como objetivos específicos se pretende caracterizar el polvo de desecho de piedra chancada y agregados que se emplearán en la mezcla asfáltica patrón y modificada, determinar el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica convencional PEN 60/70 para tránsito pesado, determinar el porcentaje óptimo de desecho de polvo de piedra chancada como filler de la mezcla asfáltica PEN 60/70 para tránsito pesado, ensayar las mezclas asfálticas patrón y modificada óptimas por el Test de Lottman Modificado para determinar la susceptibilidad al daño por humedad, ensayar las mezclas asfálticas patrón y modificada óptimas en el ensayo Cántabro para determinar el desgaste, comparar los resultados de daño por humedad y desgaste obtenidos de las mezclas asfálticas patrón y modificada, y por último, evaluar económicamente la realización de las mezclas asfálticas convencional y modificada y comparar el costo – beneficio entre las dos.

Para llevar la investigación a cabo, se realizó una revisión exhaustiva de literatura que tenga relación con el tema, asimismo, se realizaron ensayos normados por el MTC apoyados sobre la AASHTO y ASTM para corroborar la calidad de agregados que componen la mezcla asfáltica, luego, se determinó el tamaño de muestra de la investigación utilizando un Análisis de Varianza Unifactorial, posterior a ello se elaboraron y ensayaron las briquetas a través del ensayo Marshall, para finalmente obtener las muestras óptimas y resolver la pregunta de investigación e hipótesis por el ensayo Lottman Modificado y Cántabro.

Revisión de literatura

Antecedentes

Artículo Científico: Resistencia al Envejecimiento de las Mezclas Bituminosas en Caliente: Beneficios y Limitaciones de la Incorporación de Filleres Comerciales

Según [2], señala que las capas de rodadura bituminosas suelen fallar debido al envejecimiento antes que a las cargas del tráfico. Además, menciona que las especificaciones técnicas en Argentina no consideran el envejecimiento como un factor significativo. En la mayoría de los estudios, los ensayos se han centrado en el asfalto de manera aislada, simulando el deterioro de forma acelerada, pero estos métodos no permiten predecir con precisión el comportamiento del material en servicio, ya que no consideran la interacción entre el árido, el ligante y el filler, lo que influye en el rendimiento de la mezcla asfáltica en su conjunto. Por ello, propusieron utilizar el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL), complementado con el ensayo Cántabro, para evaluar la cohesión y el envejecimiento en laboratorio. Se realizaron pruebas con betunes SBS, EVA y 70/100, utilizando filler de cal hidratada y caliza en diferentes proporciones. Los resultados mostraron que, con mayores proporciones de cal, las pérdidas en el ensayo Cántabro disminuyeron a cualquier temperatura y etapa de envejecimiento. Además, en las muestras con filler calizo, las diferencias fueron mínimas en comparación con las mezclas con cal, lo que sugiere un comportamiento similar entre ambos materiales.

Artículo Científico: Evaluación de características físicas y químicas de los rellenos minerales de piedra caliza y polvo de piedra en la formulación de morteros asfálticos.

De acuerdo con [3], en su investigación se plantearon como objetivo, verificar los factores que intervienen directamente sobre la modificación del comportamiento físico y químico de los asfaltos al adicionarle rellenos, en este caso, polvo de piedra y polvo calcáreo. Se realizaron ensayos como punto de ablandamiento con anillo y bola, penetración y adhesividad en el mortero – agregado. Los resultados obtenidos mostraron que en la adhesividad hay una buena eficiencia entre relleno - asfalto, esto se debe a las características electropositivas del polvo calcáreo y su superficie específica ya que, por absorción química, absorben las moléculas de los asfaltos formando un compuesto insoluble en agua, resultando un “blindaje” de la película del asfalto que recubre al agregado. Por otro lado, en cuanto a las características físicas, estas dependieron principalmente de la forma y textura de los rellenos mas no de su finura, logrando morteros más rígidos. En conclusión, la actividad de los conjuntos relleno – asfalto y agregado – mortero está relacionada con la forma, naturaleza, textura y superficie específica de los rellenos, pero no de su finura.

Tesis de Pregrado: Durabilidad de las Mezclas Asfálticas en Caliente con Valvas de Concha de Abanico

[4] menciona en su investigación que la deformación permanente es una medida de la durabilidad de las mezclas asfálticas ya que los pavimentos realizados con estas están expuestos a las cargas de tránsito, asimismo, la susceptibilidad al daño por humedad se genera por diversas causas como agregados sensibles al agua, presencia de agua y tránsito, que se asocian con la adhesión ligantes – agregados. Se realizó ensayos de durabilidad como el Creep Estático para determinar la deformación plástica y el ensayo de Lottman para averiguar el daño por humedad de la mezcla, reemplazando el agregado fino por residuo de valva de concha de abanico (RCA). Se obtuvieron resultados que indican que los concretos asfálticos con RCA son menos susceptibles al agua en comparación al convencional (sin RCA) a causa de la buena adhesión con el ligante, además tienen una menor deformación plástica y menor ahuellamiento frente a cargas estáticas debido a la geometría de la partícula. Concluyendo que, el reemplazo de RCA por agregado fino mejora el comportamiento de durabilidad en mezclas asfálticas.

Tesis de Pregrado: Evaluación de la Incorporación de Polvo de Piedra Chancada en la Subrasante Deteriorada Por Deformación, Carretera Chota – Shitacucho

[5] mencionan en su investigación que los suelos varían significativamente de un lugar a otro en cuanto a sus características físico-mecánicas y sirven como subrasante. El problema radica en su baja capacidad de soporte ya que, suelos débiles pueden sufrir deformaciones debido a la acción del agua puesto que cuando estos se saturan empiezan a encogerse y hundirse. Sin embargo, se pueden estabilizar para aumentar su resistencia. Como solución al suelo de la carretera Chota – Shitacucho afectado por las deformaciones, propusieron estabilizarlo con desechos de piedra caliza triturada. Primero caracterizaron el tramo de la carretera con 3 calicatas donde se observó que eran arcillas plásticas del grupo A – 7 – 6 según clasificación AASHTO con CBR menor a 6%; por lo tanto, siguiendo la norma correspondiente se debía estabilizar debido a la baja capacidad de soporte. Se utilizó desechos de piedra caliza, siendo el contenido óptimo un 10% de estos en el suelo, obteniendo resultados de disminución de expansión, plasticidad y óptimo contenido de humedad, del mismo modo, un aumento del CBR hasta un 14.5%. Por lo tanto, se concluye que el polvo de desecho de piedra triturada es una buena alternativa para estabilizar suelos arcillosos.

Tesis de Pregrado: Adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar en susceptibilidad al agua de mezcla asfáltica en caliente trujillo 2023

[7] indica que el incumplimiento de la vida útil de los pavimentos flexibles radica en la exposición al agua, presentando fallas como ahuellamientos, grietas y fisuras. Es por eso que propone adicionar CBCA como relleno al 1%, 2%, 3%, 4%, y 5% con tal de lograr una mejor resistencia y durabilidad frente al agua. Para la realización de la investigación usó un diseño experimental puro de la mano con la metodología Marshall y el ensayo de Índice de Resistencia Residual apoyado en la norma VN 32 – 67 para tratar de responder la pregunta de investigación e hipótesis. Mediante un muestreo no probabilístico por juicio, ensayó 36 especímenes donde concluyó que la adición de CBCA influye en la susceptibilidad al agua incrementando el índice de estabilidad residual de 54.35% que vendría a ser la MAC convencional hasta 96.63% con la MAC modificada con adición del 5%. En base a ello, se concluyó que los mejores porcentajes de adición son al 4% y 5%; sin embargo, los porcentajes menores se descartó por presentar alta susceptibilidad al agua. Entonces, se puede concluir que a mayor adición de filler CBCA mayor índice de estabilidad residual y mejor durabilidad frente al daño por humedad.

Tesis de pregrado: Evaluación del Efecto de la Cal Hidratada y el Polvo de Ladrillo Utilizado como Relleno Mineral en las Propiedades de una Mezcla Asfáltica

[8] recalca que, en el Perú, precisamente en Chiclayo, no hay estudios sobre la reutilización de RCD como material de relleno y los efectos de este en mezclas asfálticas; además, según el EG – 2013, menciona que el filler solo es un material que complementa la granulometría de los agregados finos. Debido a esto, estudió la sustitución del hidróxido de calcio por polvo de ladrillo como filler, realizando briquetas y alterando los porcentajes en el polvo mineral de estos materiales, tales como: 80% cal – 20% polvo de ladrillo, 60% cal – 40% polvo de ladrillo y así sucesivamente hasta reemplazar el 100% de cal por polvo de ladrillo. Se realizó solo el ensayo Marshall para determinar las propiedades mecánicas de la mezcla, obteniéndose aumentos en los resultados de estabilidad y disminución en flujo, infiriendo que se obtuvo una mezcla más rígida y resistente. Sin embargo, aplicando el método UCL para determinar la adherencia y durabilidad se obtuvo un resultado no favorable en la mezcla elaborada con polvo de ladrillo ya que este no proporciona buena adherencia.

Bases Teóricas

Pavimentos

Según [11], son estructuras de varios niveles construidos sobre la subrasante del camino, dichos niveles son: base, subbase y carpeta de rodadura. Tienen como función principal la resistencia y distribución de esfuerzos ocasionados por el tránsito vehicular para así mejorar el confort y seguridad de este, y a su vez del peatonal.

Carpeta de Rodadura

Es la capa superior del pavimento y puede ser de concreto hidráulico o concreto asfáltico o adoquines según indique y requiera el diseño [17]. Su función es disminuir las tensiones verticales que se dan por las cargas por eje para así moderar las deformaciones en esta, es decir, es el primer nivel que sostiene directamente el tránsito.

Base

Según [11][17], es la capa inferior a la carpeta de rodadura y el desempeño que ejerce es transmitir y distribuir las cargas generadas por el paso de los vehículos. También tiene la capacidad de drenar lateralmente el agua cuando esta se infiltra en el pavimento

Subbase

[11] Es el nivel contiguo inferior a la base, soporta a las dos antes mencionadas y debe ser de un material y espesor adecuado. Así como la base, esta tiene propiedades drenantes y controladoras de la capilaridad.

Subrasante

[11] Es la capa inferior del pavimento, compuesta por el terreno natural previamente preparado y compactado, sobre la cual descansarán todas las capas del pavimento. Su estabilidad es más relevante que su capacidad de soporte elevada.

Tipos de Pavimentos

Pavimentos Flexibles

Según [11], están compuestos por capas granulares, como la base y la subbase, y una capa de rodadura elaborada con materiales bituminosos que incluyen agregados y aglomerantes. Esta capa puede utilizar mezclas asfálticas en caliente, en frío, mortero asfáltico, entre otros.

[1] En un pavimento flexible, las condiciones de esfuerzo se distribuyen de manera que la carga de la rueda del vehículo se transmite al pavimento como una presión vertical uniforme, este absorbe la carga reduciendo su intensidad conforme va profundizando hasta llegar a la subrasante. Entonces el pavimento se deforma debido a estos esfuerzos, experimentando en la parte superior compresión y en la parte inferior, tensión.

Pavimentos Semirrígidos

Para [11], son estructuras conformadas por una carpeta de rodadura de capa asfáltica sobre una base tratada ya sea esta con cemento, cal, asfalto u otros. El Manual considera a los pavimentos adoquinados en esta sección.

Pavimentos Rígidos

En este tipo de pavimentos el protagonista es la losa de concreto que actúa como capa de rodadura y esta se apoya en una subbase y base granular. El concreto hidráulico por su elevada resistencia a flexión disminuye las tensiones producidas por las cargas vehiculares.

Mezclas Asfálticas

Son una combinación entre agregados, filler y asfalto; en algunos casos pueden llevar aditivos o modificadores. Las propiedades mecánicas que presenta estas mezclas resultan de la fricción y cohesión entre sus componentes. Las propiedades reológicas del asfalto permiten una mezcla adecuadamente compacta [9].

Tipos de Mezclas Asfálticas

Mezclas Asfálticas en Frío

El Instituto del Asfalto en su Manual lo define como mezcla hecha en instalación mezcladora (o ambulante) de agregados y betún asfáltico o asfalto líquido que pueden extenderse y compactarse a temperatura ambiente. El asfalto es mezclado con algún solvente o emulsificante y agua, para así no tener que cambiar la temperatura de este.

Mezclas Asfálticas en Caliente

En la MAC, el asfalto es calentado a priori de ser combinado con los áridos; puede ser añadido modificadores y mejoradores de adherencia. Para el Instituto del Asfalto, los pavimentos asfálticos de mejor calidad son los que aplican este tipo de mezclas.

Para su fabricación, se calienta el asfalto y los áridos a excepción del filler y su puesta en obra se realiza muy por encima de la temperatura ambiente. Son muy usadas para la construcción de capas de rodadura de pavimentos, así como para los niveles inferiores de estos [2].

La mezcla bituminosa que se obtiene presenta comportamiento y características particulares, estas se analizan en el laboratorio para estimar el posible desempeño del pavimento:

Densidad:

Representa el peso de un volumen dado de mezcla expresada en kg/m^3 , es vital tener una densidad alta para que la carpeta pueda tener un rendimiento duradero. En el laboratorio se estima esta característica patrón y se compara con la del pavimento culminado para evaluar si es adecuada [18].

Vacíos de aire:

Para [18], en la mezcla compactada final, el agregado se recubre con el ligante bituminoso, pero quedan pequeños espacios llenos de aire. Es crucial que la mezcla conserve un porcentaje adecuado de vacíos, ya que el tráfico generará una compactación adicional. Además, hay una correlación en la que una menor cantidad de vacíos reduce la permeabilidad del concreto asfáltico, lo que aumenta su durabilidad.

Vacíos en el Agregado Mineral (VMA):

Son los vacíos de aire que hay entre agregado y agregado tomando en cuenta las zonas que están llenas de asfalto en la mezcla. Al haber mayor espacio entre agregados (VMA), las películas de asfalto serán más gruesas y se podrá calcular el volumen efecto de asfalto sin considerar lo que absorbe de ligante los áridos. Según el Instituto del Asfalto, si dicha película entre agregados es más gruesa, más durable será la mezcla. Es necesario que se tenga especificaciones mínimas para esta propiedad como para las otras.

Contenido de Asfalto:

El contenido efectivo de asfalto se refiere al volumen de asfalto que no es absorbido por el agregado, es decir, es el ligante que recubre externamente los agregados. Esta característica depende de la granulometría y la capacidad de absorción del agregado, ya que una mayor cantidad de partículas finas en la mezcla demandará más asfalto debido al incremento en la superficie que necesita ser cubierta.

Estabilidad y Flujo:

Estas propiedades son correlacionales ya que se puede determinar e interpretar realizando el Ensayo de Resistencia Marshall. La estabilidad es la máxima resistencia a la deformación a una carga máxima que se le impone a la mezcla en el ensayo de manera constante [12]. A su vez, la fluencia es la facultad que tiene el concreto bituminoso de resistir deformación y desplazamiento ante las cargas de los vehículos, manteniendo su forma y lisura. Las especificaciones de estabilidad y flujo deben estar de acuerdo con el tránsito esperado. Dependen de la fricción de los agregados y la cohesión del cemento asfáltico; por ejemplo, si un agregado es angular y áspero, más alta será la estabilidad, asimismo, la cohesión aumenta si la viscosidad del asfalto aumenta.

Durabilidad:

Es la capacidad de la mezcla para resistir acciones externas ocasionadas por el clima y tránsito a lo largo del tiempo, tales como: desintegración y desprendimiento de agregados, oxidación, daño por humedad, etc. Mejorar la durabilidad puede estar en función de la cantidad de asfalto ya que se generan películas gruesas y estas demoran más en envejecerse a

diferencia de las películas delgadas, además, sella notablemente los vacíos existentes en la mezcla para que sea difícil la penetración del aire y agua.

Según [11], las MAC deben cumplir los requisitos mediante sus ensayos correspondientes mencionados en el Capítulo N°4 (Pavimento Asfáltico) del EG – 2013 [6] y el Manual de Ensayos de Materiales del MTC [12], mostrados en la siguiente tabla:

Ilustración 1: Requisitos para mezcla de concreto asfáltico

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 423-10		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Min.		

Fuente: EG – 2013

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

El objetivo de las mezclas de asfalto en caliente es generar una combinación que funcione eficazmente desde un punto de vista estructural y funcional. Funcionalmente, la mezcla debe ser duradera y capaz de resistir fallas comunes del pavimento como la deformación permanente, fatiga por carga, fatiga térmica, fracturas a bajas temperaturas y daño por humedad. Desde el punto de vista constructivo, la mezcla debe ser fácil de colocar y compactar con la energía adecuada. Además, la superficie de rodadura debe garantizar suficiente resistencia al deslizamiento para la seguridad.

El proceso de diseño busca desarrollar la mezcla óptima a través de la selección adecuada de materiales, como agregados y asfaltos, en función de sus propiedades volumétricas y mecánicas, obtenidas mediante ensayos empíricos o mecánicos.

Método Marshall de Diseño de Mezclas

Fue creado por Bruce Marshall en el Departamento de Carreteras de Misisipi durante la década de 1930 y mejorado posteriormente por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos en las décadas de 1940 y 1950. La AASHTO lo adoptó como AASHTO R-

12, bajo el título "Diseño de mezclas bituminosas mediante los procedimientos Marshall y Hveem". Originalmente destinado a mezclas con un tamaño máximo de agregado de 1 pulgada, el método se ha adaptado para trabajar con agregados de hasta 1.5 pulgadas. Hoy en día, sigue siendo un método popular en el diseño de pavimentos, incluyendo mezclas con emulsión asfáltica, y también se utiliza para probar y compactar muestras en el control de calidad de obras viales.

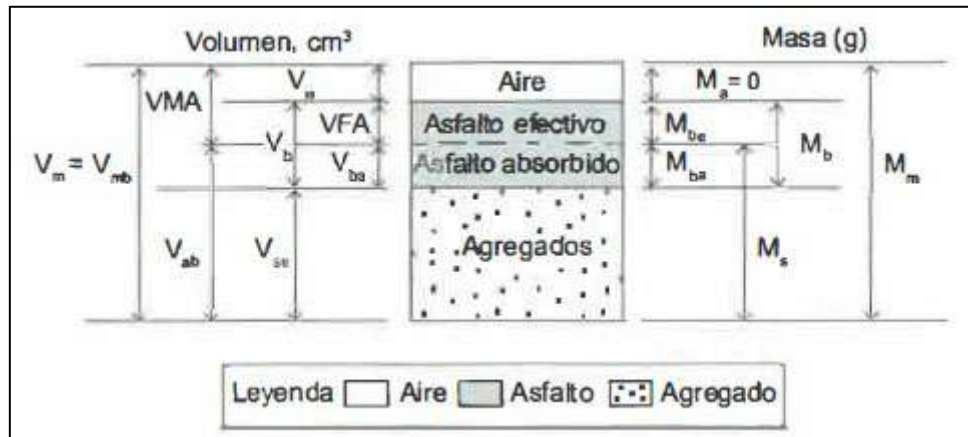
El diseño de mezclas con el método Marshall consta de los siguientes pasos:

- a) Evaluación de agregados: ensayos de calidad que sean requeridos. Asimismo, gravedades específicas, absorción y granulometría para encontrar la mejor gradación mediante combinación de agregados gruesos y finos.
- b) Evaluación del ligante asfáltico de acuerdo con la ubicación geográfica donde se realice la mezcla. Verificación de especificaciones del cemento asfáltico (viscosidad, penetración, etc.)
- c) Preparar los especímenes Marshall de acuerdo con los requisitos y normativas correspondientes. El contenido de asfalto debe ir en incrementos del 0.5%. Las muestras se compactan de acuerdo con el tráfico proyectado mediante el compactador Marshall.
- d) Obtener el P. E. bulk de las briquetas compactadas y el rice de la MAC correspondiente. Calculando los vacíos totales, VMA y vacíos llenados de asfalto.
- e) Ensayar los especímenes para estabilidad y flujo usando el equipo Marshall.
- f) Representar mediante curvas el contenido de asfalto vs peso unitario, estabilidad Marshall vs contenido de asfalto, flujo vs contenido de asfalto, vacíos de aire vs contenido de asfalto, VMA vs contenido de asfalto, VFA vs contenido de asfalto.
- g) Determinar el porcentaje óptimo de ligante.

Parámetros Volumétricos de Mezclas Asfálticas

Es fundamental para seleccionar el contenido óptimo de ligante en una MAC. Estos parámetros pueden estimar el funcionamiento probable de la mezcla frente a las solicitaciones que se presenten. Se calculan en función de la masa de los elementos ya que no es práctico estar midiendo el volumen; en otras palabras, la masa de un elemento es proporcional a su volumen.

Ilustración 2: Representación de fases masa – volumen de las propiedades volumétricas de la MAC



Fuente: Ingeniería de Pavimentos – José Rafael Menéndez Acurio

a) Gravedad Específica Bulk de la Mezcla Compactada (G_{mb})

Establece la relación entre el peso en aire de un espécimen de mezcla asfáltica compactada a una determinada temperatura y el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura. Se determina en función de:

$$G_{mb} = \frac{A}{(B - C)}$$

Donde:

- A = Peso al aire, g
- B = Peso saturado con superficie seca, g
- C = Peso sumergido, g

b) Peso Específico Bulk de los Agregados Combinados (G_{sb})

Los agregados que componen la MAC tienen diferentes gravedades específicas ya que, la masa total del agregado consta de agregado grueso, fino y el filler. Por lo cual, esta propiedad se calcula mediante:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

- P_1, P_2, \dots, P_n = % específicos de la masa de agregados
- G_1, G_2, \dots, G_n = % específicos de los materiales pétreos

c) Gravedad Específica Efectiva del Agregado (G_{se})

Esta propiedad incluye los vacíos totales en las partículas de los agregados componentes de la mezcla, salvo los que vacíos que absorben ligante. Se obtiene mediante:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} = \frac{1 - P_b}{\frac{1}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

- G_{se} = G. E. efectiva del agregado
 G_{mm} = G. E. a máxima de la mezcla
 P_{mm} = % en masa de mezcla suelta total (100%)
 P_b = % de contenido de asfalto en la mezcla
 G_b = G. E. del ligante

d) Peso Específico Teórico Máximo de la Mezcla o Gravedad Específica Rice (G_{mm})

Mide la relación entre el peso de una unidad de volumen de una MAC no compactada y el peso de un volumen equivalente de agua a la misma temperatura.

$$G_{mm} = \frac{A}{(A - B)}$$

Donde:

- A = Peso seco de la muestra, g
 B = Peso en agua después de desairear, g

e) Contenido de Asfalto (P_b)

Es calculado como un porcentaje de ligante del total de la MAC en masa. Se obtiene mediante:

$$P_b = 100 \left(\frac{M_b}{M_s + M_b} \right)$$

Donde:

- P_b = Asfalto total, %
 B = Peso de asfalto, g
 M_s = Peso del agregado, g

f) Asfalto Absorbido (P_{ba})

Es la masa de asfalto que los agregados absorben por su capacidad propiamente dicha. Está expresado como el porcentaje respecto a la totalidad de masa del agregado, en vez de la masa total de la MAC.

$$P_{ba} = 100 \left(\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} G_b \right)$$

Donde:

- G_{se} = G. E. efectiva del agregado combinado
 G_{sb} = P. E. de los áridos combinados

g) Asfalto Efectivo (P_{be})

Es la masa de asfalto que los agregados no absorben. Se expresa como porcentaje de la masa total de la MAC.

$$P_{be} = P_b - \left(\frac{P_{ba}}{100}\right)P_s = P_b - \left(\frac{P_{ba}}{100}\right)(1 - P_b)$$

Donde:

- Pb = % de asfalto de la masa total de la mezcla
 Pba = % de asfalto absorbido por la masa del agregado combinado
 Ps = % total de contenido de agregado de la masa de la mezcla

h) Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Se refiere al volumen total de los espacios que llena el ligante efectivo, así como los vacíos entre las partículas de agregados de la MAC, expresado como porcentaje respecto al volumen total de la mezcla. Se determina de la siguiente manera:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}P_s}{G_{sb}}$$

Donde:

- Gsb = P. E. de los áridos combinados
 Gmb = G. E. de muestra compactada

i) Vacíos en la Mezcla Total Compactada (VTM)

Es el volumen total que componen los espacios de aire dentro del agregado recubierto por el bitumen en una MAC compactada. Se recomienda que los valores de VTM estén entre 3% a 5% para obtener una estabilidad y durabilidad adecuada.

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

Donde:

- G_{mm} = Rice
 G_{mb} = G. E. de la mezcla compactada

j) Vacíos Llenados con Asfalto (VFA)

Representa el volumen en porcentaje respecto al total de la mezcla en el que los espacios vacíos dentro del árido son llenados con el ligante. Si es bajo, indica una inadecuada cantidad de bitumen.

$$VFA = \frac{100(VMA - V_a)}{VMA}$$

Materiales que Componen las Mezclas Asfálticas en Caliente

Asfalto

Según [13], es un aglomerante de consistencias sólida, semisólida y líquida. Están compuestos principalmente de betunes que se encuentran en la naturaleza o sacados a partir de la destilación del petróleo. Su aspecto varía de color negro o pardo oscuro.

[17] Es una sustancia plástica que da flexibilidad a las mezclas asfálticas que son combinadas con agregados. También, resiste a diferentes reacciones producidas por ácidos, álcalis y sales.

Clasificación.

Clasificación por Penetración

Este método de clasificación se realiza a través del ensayo de penetración que consiste en dejar penetrar una aguja de carga conocida en una muestra de asfalto, la longitud que penetra la aguja se mide en décimas de milímetro (0.1 mm).

Ilustración 3: Clasificación de asfalto por penetración

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽²⁾											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾	MTC E 306			50		75		100		100	

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.
 (3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

Fuente: Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas para Construcción

La tabla 415-05 del EG – 2013 indica que la distancia que penetra la aguja en un asfalto de grado PEN 60 – 70 es de 60 a 70 décimas de milímetro; es decir, es un asfalto “duro”. Por lo tanto, mientras más duro sea el betún asfáltico, menor será el grado que revele su penetración y viceversa.

Clasificación por Viscosidad

En este método de clasificación entra a tallar la unidad de medida de la viscosidad absoluta que es el Poise. En la Tabla 415 – 03 del EG – 2013 indica que mientras más alto es el número de poises, más viscoso es el asfalto, por ende, más duro. Es decir, el AC – 20 tiene una viscosidad de 2000 poises a 60°, entonces sería un asfalto “duro”.

Ilustración 4: Clasificación de asfalto por viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C 5t mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, 9C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en triclorometileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
➤ Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
➤ Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensos) ⁽¹⁾					
Solvente Nafta – Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(1) Porcentajes de solvente a usar, se determinara si el resultado del ensayo indica positivo.
Fuente: ASTM D 3381, NTP

Fuente: EG – 2013

El empleo de un asfalto para las mezclas asfálticas estará en función del clima de la región en la que se va a trabajar y/o construir el pavimento. Es por eso que, la tabla 415 – 01 del EG – 2013 indica la selección de tipo de ligante que se debe emplear.

Ilustración 5: Selección del tipo de cemento asfáltico en Perú según MTC

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Fuente: EG – 2013

Agregados

Son los materiales minerales duros e inertes que forman parte de un pavimento, se usan de manera de partículas graduadas según su tamaño, estos son: grava, piedra chancada, arena, escoria y polvo de roca. Conforman alrededor del 80% del volumen de los pavimentos y el 90% en peso, además, proporciona características de estabilidad y capacidad portante.

Agregado Grueso

El EG – 2013 señala que se le denomina como tal a la cantidad retenida en la malla N°4 (4.75 mm).

Según el [11], estos deben cumplir los requisitos mediante su ensayo correspondiente mencionados en el Capítulo N°4 del EG – 2013 y Manual de Ensayos de Materiales, mostrados en la siguiente tabla:

Ilustración 6: Especificaciones para el agregado grueso en la MAC

Requerimientos para los agregados gruesos			
Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: EG – 2013

Agregado Fino

Se considera a la parte que pasa la malla N°4 (4.75 mm) y queda retenido en la malla N°200 (75 µm) [6].

Según [11], estos deben cumplir los requisitos mediante su ensayo correspondiente mencionados en el Capítulo N°4 del EG – 2013 y Manual de Ensayos de Materiales, mostrados en la siguiente tabla:

Ilustración 7: Especificaciones para el agregado fino en la MAC

Requerimientos para los agregados finos			
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	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 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: EG – 2013

Filler o Relleno Mineral

Es un material que se utiliza en la mezcla bituminosa con el objetivo de complementar la granulometría de los áridos finos cuyas características no cumplen las especificaciones técnicas.

Son los finos que pasan la malla N°200 (75 µm). Podrá ser el producto de la trituración de roca, productos comerciales como la cal o cemento portland, ceniza fina o loess [6].

Es esencial para una mezcla densa, cohesiva, durable y resistente a la penetración del agua. No obstante, un pequeño porcentaje de más puede causar que la mezcla parezca seca y muy rígida, asimismo, un porcentaje menos puede causar en una mezcla rica en asfalto [18].

Características

Finura

Si ocupa parcialmente los espacios libres, minimiza el porcentaje de vacíos de la mezcla. Cumple una función rellena en base a la granulometría y los áridos de mayor tamaño [8].

Comportamiento reológico

Incrementa la resistencia a la deformación de la mezcla sin alterar la viscosidad del ligante [8].

Interacción filler – asfalto

[8] explica que, según la teoría de Tunnicliff (Método fenomenológico conceptual para la interacción de aglutinantes con rellenos minerales), hay un volumen efectivo de vacíos rellenos de asfalto y así la mezcla mejora estructuralmente desempeñándose como una unidad.

Polvo Residual de Piedra Chancada

Se entiende como el material residual del proceso de trituración del agregado grueso resultante del chancado artificial de rocas o gravas. Está compuesto de carbonato de calcio (CaCO_3), óxido de calcio (CaO), dióxido de silicio (SiO_2), óxido de hierro (Fe_2O_3) y otros minerales. El CaCO_3 o SiO_2 hacen que la resistencia del suelo crezca por lo que se usa en la geotecnia como estabilizantes [5].

Características

[5] en su investigación, caracteriza el material mencionado, indicando que más del 50% de este queda retenido en el tamiz N°100, lo que lo clasifica como residual. En una pila de material, se observa un pequeño porcentaje de fracción gruesa que presenta un desgaste inferior al 50%. Además, el desecho de piedra chancada tiene un peso específico de 2.634 gr/cm^3 y una humedad natural baja del 3.16%, dado que se encuentra desechado y sin uso.

Este material no cumple con las gradaciones especificadas en las normas como agregados para concreto, pero puede satisfacer las condiciones para un material de afirmado.

Ilustración 8: Polvo de desecho de piedra chancada



Fuente: Evaluación de la incorporación de polvo de piedra chancada en la subrasante deteriorada por deformación, carretera Chota – Shitacucho

Ensayos para Calidad de Agregados

Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos – MTC E 204

Tiene como objetivo determinar la distribución de partículas en una muestra seca de peso conocido utilizando tamices de abertura cuadrada. Este método se aplica para evaluar la gradación de los materiales propuestos para su uso como agregados. Los resultados obtenidos permiten verificar si la distribución del tamaño de las partículas cumple con las especificaciones técnicas del proyecto y brindan la información necesaria para el control de la producción de agregados.

En una mezcla asfáltica debe cumplir cierta gradación para así realizar el diseño de mezcla Marshall. La gradación que debe cumplir se muestra en la tabla 423-03 del EG – 2013:

Ilustración 9: Gradaciones para MAC

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: EG – 2013

Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos – MTC E 205

Tiene como objetivo determinar varias propiedades del agregado fino, como el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción, después de haber estado sumergido en agua durante 24 horas [12]. Es fundamental para calcular el volumen que ocupan los agregados en el concreto bituminoso, y se utiliza para ajustar los diseños de mezclas. Por otro lado, el peso específico aparente y el peso específico relativo aparente se enfocan únicamente en el material sólido de las partículas, excluyendo los espacios porosos accesibles al agua. Este último valor no se utiliza con frecuencia en la tecnología de agregados en construcción. Los valores de absorción son importantes para evaluar la variación en la masa del agregado debido al agua absorbida en los espacios porosos entre las partículas, en comparación con su estado seco, asumiendo que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para alcanzar su máxima absorción.

Procedimientos:

- Tamizar una muestra de material por la malla N°4 para retener las partículas gruesas.
- Introducir en una fiola una muestra de 500g, luego llenar con agua hasta la marca de 500 cm³. Eliminar las burbujas de aire atrapado agitando manualmente por 30 minutos.
- Una vez eliminado las burbujas de aire, pesar la fiola con la muestra y el agua. Luego, sacar el agregado fino del frasco y secar en el horno a temperatura de 110° ± 5 °C hasta llegar a masa constante. Por último, pesar la muestra seca.

Cálculos:

Peso específico de masa (P_{em}):

$$Pe_m = \frac{W_0}{(V - V_a)} \times 100$$

Donde:

Pe_m	=	P. E de masa
W_0	=	Peso de la muestra secada en el horno, g
V	=	Volumen del frasco en cm^3
V_a	=	Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua introducida a la fiola

Peso específico de masa saturado con superficie seca (Pe_{sss}):

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

Peso específico aparente (Pe_a):

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100$$

Absorción (Ab):

$$Ab = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$$

Determinación del Límite Plástico (L. P) de los Suelos e Índice de Plasticidad (I. P)

El objeto de este ensayo es obtener el límite plástico de un suelo e índice de plasticidad conociendo el límite líquido. El límite plástico es la humedad más baja con la que se pueden formar rollitos de suelo de aproximadamente 3.2mm de diámetro. A menudo, la información es usada como parte de varios sistemas de clasificación, como SUCS y AASHTO [12].

Procedimientos:

- Se toma una muestra que pase por el tamiz correspondiente (N° 40 y N° 200), se amasa con agua destilada hasta formar una bola con la masa de suelo o agregado.
- Se agarra la mitad de la muestra para moldearla en forma de elipsoide, rodando sobre una superficie lisa con la palma y de dedos de la mano. Se moldea hasta que el cilindro se desmorone. Los rollitos se realizan hasta por lo menos reunir unos 6 g se suelo y se calcula la humedad.

Cálculos:

El límite plástico se determina de la siguiente manera:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

El índice de plasticidad se calcula:

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido
L.P. = Límite Plástico

Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos – MTC E 206

Implica sumergir una muestra de agregado en agua durante aproximadamente 24 horas para permitir que sus poros se llenen. Posteriormente, la muestra se retira del agua, se seca la superficie de las partículas y se pesa. Luego, se realiza un segundo pesaje mientras el agregado sigue sumergido en agua. Por último, la muestra se va al horno hasta secar y se pesa. Este procedimiento permite determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado.

Procedimiento:

- Tamizar el material por la malla N°4 y descartar todo lo que pase de esta. Pesar una muestra según TMN del agregado y sumergir en agua durante $24 \text{ h} \pm 4\text{h}$.
- Sacar el agregado grueso del agua y secar con un paño absorbente grande para tenerla en estado saturado con superficie seca. Asimismo, se pesa la cantidad de agregado.
- Se coloca en una cesta de alambre y se determina su peso sumergido en agua. Por último, se seca la muestra en el horno hasta masa constante a $110 \text{ }^\circ\text{C} + 5 \text{ }^\circ\text{C}$ y se pesa.

Cálculos:

Peso específico de masa (Pe_m):

$$Pe_m = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

A = Peso seco, g
B = Pe_{sss} , g
C = Peso sumergido, g

Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pe_{sss}):

$$Pe_{sss} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

Peso específico aparente (Pe_a):

$$Pe_a = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

Absorción (Ab):

$$A_b = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Abrasión Los Ángeles al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5mm (1 ½'') – MTC E 207

Evalúa el desgaste de los agregados con gradaciones estandarizadas, como resultado de la abrasión, el impacto y la trituración. Este procedimiento se realiza en un tambor de acero que gira y contiene una cantidad específica de esferas de acero, determinada por la gradación de la muestra. Durante la rotación, las esferas y la muestra son levantadas por una pestaña de acero y luego se arrojan al lado opuesto del tambor, generando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo se repite mientras el tambor sigue girando. Al finalizar un número establecido de revoluciones, se retira el agregado del tambor y se tamiza para determinar su desgaste en términos de porcentaje de pérdida.

Procedimiento:

- Se coloca la muestra de ensayo y carga según gradación correspondiente en la máquina de Los Ángeles y se hace rotar a una velocidad que oscila los 30rpm a 33rpm por 500 revoluciones.
- Finalizado el número de revoluciones, descargar el material de la máquina y tamizar por la malla N°12, luego pesar el peso retenido en dicha malla.

Cálculos:

La pérdida se expresa como un porcentaje de la masa inicial del ensayo:

$$\%pérdida = 100 - \frac{\text{Peso ret tamiz N}^\circ 12}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio – MTC E 209

Según [12] este ensayo determina la resistencia de los áridos a la desintegración mediante soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio. La saturación de los agregados debe ser no menos de 16 horas ni más de 18 horas cubriendo toda la muestra a ensayar. Pasado el periodo de inmersión se saca de la solución y se seca en el horno. Todo el proceso de saturación y secado se repite durante 5 ciclos. Es importante realizar este ensayo ya que permite juzgar el estropeo de los agregados ante la acción de la intemperie.

Cálculos:

$$\%pérdida = 100 - \frac{\text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \times 100$$

Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso – MTC 210

tiene como objetivo aumentar el esfuerzo cortante al incrementar la fricción entre las partículas, tanto en mezclas de agregados sueltos como compactados. Además, busca proporcionar estabilidad a los tratamientos de superficie de los agregados. Se define una partícula fracturada como un agregado que presenta al menos una cara fracturada (una, dos o más), con características angulares, ásperas o rugosas, resultado del proceso de chancado de rocas de mayor tamaño.

Se determina en porcentaje respecto a su masa de una muestra de agregado grueso que tiene partículas fracturadas.

Procedimiento:

- Se tamiza la muestra de agregado grueso según TMN y determinar cada una de las masas.
- Expandir la muestra retenida de cada tamiz en una superficie que permita la inspección de las partículas fracturadas. Si la cara constituye por lo menos la cuarta parte de la sección transversal de una partícula, se toma como fracturada.
- Separar en dos grupos las partículas inspeccionadas, tanto caras fracturadas especificadas (angulosas y rugosas) como no fracturadas (redondeadas con superficies lisas). Luego, determinar el peso de cada grupo o contar el número de partículas

Cálculos:

$$P = \frac{F}{F + N} \times 100$$

Donde:

P	=	% de partículas con caras fracturadas especificadas
F	=	Peso o número de partículas fracturadas con número de caras especificadas
N	=	Peso o número de partículas no fracturadas

Sales Solubles en Agregados para Pavimentos Flexibles – MTC E 219

El ensayo tiene como finalidad medir el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua en los áridos utilizados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas. En este proceso, la muestra se lava con agua destilada a ebullición. La presencia de estos compuestos se detecta mediante reactivos químicos que generan precipitados al entrar en contacto con las sales. Luego, se

toma una alícuota de la muestra total de lavado y se cristaliza para determinar la cantidad de sales presentes.

Procedimiento:

- Colocar la muestra en un frasco y agregar agua destilada con volumen suficiente para cubrirla. Luego, agitar durante 15 minutos y decantar hasta que el líquido se aprecie transparente. Verter el líquido a otro recipiente y calentar hasta ebullición.
- Agregar los reactivos químicos que detectarán las sales solubles. Tomar una alícuota entre 50ml o 100ml en un beaker y poner en el horno hasta que cristalice.

Cálculos:

$$SS = \frac{(m_2 - m_1)xD}{E} \times 10^6$$

Donde:

$(m_2 - m_1)$	=	Peso residuo cristalizado
D	=	Relación de la mezcla suelo: agua
E	=	Volumen de alícuota, mL

Partículas Chatas y Alargadas en Agregados – ASTM 4791

Indica los porcentajes de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso; es decir, aquellas partículas que poseen una relación ancho – espesor o largo – ancho mayor que un valor dado. Es importante realizarlo ya que estas pueden obstaculizar la consolidación y obstruir la puesta de los materiales. Proporciona también la forma característica del agregado grueso y así observar si cumple con las especificaciones que se requiere para mezclas asfálticas.

Equivalente de Arena – MTC E 114

Tiene como objetivo determinar las proporciones relativas de suelos arcillosos, finos plásticos y polvo dentro de suelos granulares y agregados finos que pasan a través de la malla N°4. Esencialmente, se busca identificar la mezcla de partículas gruesas deseables, como la arena, y la presencia de arcillas o finos y polvos no deseados. Este método proporciona un valor experimental que refleja la naturaleza, fineza y cantidad relativa del material arcilloso en la muestra analizada. Los valores mínimos permitidos para la cantidad de finos arcillosos en los agregados dependerán de su aplicación específica.

Procedimiento:

- Tomar una muestra representativa de agregado fino que pase la malla N° 4.
- Verter la solución stock con un tubo irrigador desde un sifón en el cilindro de plástico hasta una altura de $4'' \pm 0.1''$.

- Meter los especímenes de ensayo en los cilindros apoyándose de un embudo para no derramar muestra. Golpear la base de cada cilindro para eliminar el aire atrapado y dejar saturar por 10 minutos.
- Transcurrido los 10 minutos, procedemos a agitar el cilindro horizontalmente por 90 ciclos durante 30 segundos. Con el tubo irrigador enjuagar las paredes del cilindro y luego, dejar decantar 20 minutos.
- Finalizado el tiempo de sedimentación, anotar el nivel de la arcilla y arena.

Cálculos:

$$SE = \frac{\text{Medida de arena}}{\text{Medida de arcilla}} \times 100$$

Azul de Metileno – AASHTO TP 57

Se utiliza para determinar la cantidad de materiales perjudiciales y dañinos, como arcillas y materia orgánica, presentes en la fracción fina de un agregado. A través de la medición del valor de azul de metileno, se puede inferir la cantidad de arcilla o materia orgánica en la muestra. El procedimiento implica añadir la solución de azul de metileno en pequeñas dosis a una mezcla de agua destilada y material fino que pasa por la malla N°200. Cada vez que se añade un incremento, se mezcla con una varilla de vidrio y se toma una gota para observarla sobre un papel filtro. Cuando se forma un anillo azul en el papel, se cuantifica la cantidad de solución de azul de metileno utilizada.

Cálculos:

El valor de azul se calcula con la siguiente expresión:

$$VA = \frac{V_1}{M_1} \times 100$$

Donde:

VA	=	Valor de Azul, ml/g
M ₁	=	Masa de la muestra de ensayo, g
V ₁	=	Volumen añadido de solución colorante, ml

Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X – ASTM E 1621

Tiene como objetivo determinar la composición elemental de los materiales. Es un método no destructivo que se basa en la interacción de los rayos x con los átomos de la muestra, provocando radiación característica de cada elemento. Puede proporcionar una determinación precisa de elementos metálicos y no metálicos en una variedad de sólidos y líquidos [21]. Se basa en los principios de excitación de átomos mediante rayos x y la emisión de fluorescencia producidos por los rayos x secundarios detectados por el espectrómetro. Para análisis de

piedra caliza, cal viva y cal hidratada se puede basar en la norma ASTM C 25 (Método de prueba estándar para análisis químico de piedra caliza, cal viva e hidratada)

Procedimiento:

- Se prepara una muestra representativa a ensayar en el espectrómetro, si es en polvo, se prensa en pastillas.
- Se opera el equipo para que cumpla con el ensayo. Primero, dirige un haz de rayos X primarios sobre la muestra, luego el detector mide la radiación fluorescente emitida por la muestra y mediante el software que presenta el equipo interpreta los datos del detector y proporciona un espectro que muestra las energías y las intensidades de los rayos X fluorescentes, comparándolos con la composición elemental de la tabla periódica.

Ensayos para Mezclas Asfálticas

Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall – MTC E 504 / AASHTO T – 245 / ASTM D 1559

Tiene como finalidad evaluar el diseño de una mezcla asfáltica y sus variables de comportamiento. Esto se logra mediante la preparación y compactación de muestras de (MAC) con una altura de 64 mm y un diámetro de 102 mm, usando el método Marshall. Los especímenes obtenidos a través de este proceso se analizan para determinar parámetros como estabilidad, flujo, resistencia a la tracción indirecta, módulos, densidad y vacíos. La estabilidad Marshall se define como la resistencia máxima del espécimen a la deformación bajo una carga constante, mientras que el flujo se refiere a la cantidad de deformación observada durante la prueba de estabilidad. Por lo general, el contenido de ligante se selecciona basándose en la experiencia y en datos históricos previos.

Procedimiento:

- Se preparan los agregados, se secan a peso constante y se tamizan según mallas para obtener fracciones deseadas. Se prepararán en taras según pesaje indicado por el Método Marshall.
- Colocar los agregados en una superficie de calentamiento y calentar el asfalto según temperatura indicada. Luego, mezclas los agregados con el ligante asfáltico rápidamente hasta que el material pétreo esté cubierto totalmente.
- Colocar un papel no absorbente de dimensión según la base del molde de la briqueta antes de verter la mezcla. Luego, se introduce la mezcla y se chusea 25 veces para al final poner otra pieza de papel con el fin de acoplar la parte superior.

- Colocar el molde en el pedestal de compactación y golpear en ambas caras tantas veces sea necesario con el martillo según especifique el tránsito que se desea trabajar. Terminada la compactación se deja enfriar para luego extraer el espécimen del molde.
- Se medirá el espesor y altura, asimismo se pesará en sus estados: al aire, sumergido y saturado superficialmente seco. La finalidad de lo anterior es determinar el peso específico bulk de cada espécimen.
- Los ensayos estabilidad y flujo Marshall en las mordazas se realizará luego de 24h de la compactación a 60 °C. La carga en el aparato Marshall debe ser constante a razón de 50 mm/min. Se toma los datos según el dial del aparato.

Cálculos:

La estabilidad final se da mediante la siguiente ecuación:

$$A = B \times C$$

Donde:

A	=	Estabilidad corregida
B	=	Medida de la estabilidad en la máquina Marshall
C	=	Razón de correlación

Peso Específico Teórico Máximo de Mezclas Asfálticas para Pavimentos – MTC E 508 / AASHTO T 209

Las propiedades fundamentales como esta y la densidad de la MAC son influenciados por la composición de dicha mezcla, en función de los tipos y cantidades de los agregados y el ligante bituminoso. Se emplean para el calcular las propiedades volumétricas como la cantidad de vacíos de aire y cantidad de ligante absorbido por el agregado para asegurar el soporte del tráfico y condiciones ambientales.

Procedimiento:

- Se desmenuza una cantidad de mezcla asfáltica para asegurar que las partículas estén separadas. Si no está floja para separar de forma manual, calentarla hasta que pueda manipularse. Colocar en un recipiente y pesar la muestra.
- La muestra se coloca en el frasco de vacío, que se llena con agua destilada a una temperatura controlada. Luego, se aplica vacío para eliminar el aire contenido en la mezcla. Este proceso puede durar de 10 a 15 minutos, dependiendo de la cantidad de aire atrapado.
- Después de remover el aire atrapado, el frasco con la mezcla y el agua se pesa nuevamente para obtener el peso bajo el agua.

Cálculos:

El peso específico teórico máximo de la muestra se obtiene mediante:

$$Pe = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

Donde:

A = Peso seco, g
C = Peso sumergido después de desairear, g

Ensayos de Durabilidad de Mezclas Asfálticas**Test de Lottman Modificado – AASHTO T 283**

Este ensayo mide la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas, se relaciona la resistencia a la tracción indirecta de los especímenes húmedos respecto a los secos. Las condiciones húmedas consisten en saturar al vacío las briquetas (13 a 67 kPa de presión absoluta), luego aplicar un ciclo de congelación ($-18 \pm 3^\circ\text{C}$ por 16h) y deshielo en baño maría ($60 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24h), por último, se somete a un baño maría adicional a $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ por 2h. Se saca una ratio de resistencia a la tracción (TSR) que es la relación entre la resistencia húmeda y la seca, esta debe ser mayor al 80% para considerarse como buen desempeño a la humedad. Para sacar la resistencia se somete a los especímenes a una compresión diametral aplicando una carga a velocidad constante hasta que falle dividiéndose respecto a su eje diametral [5].

Procedimiento:

- Hallar la G. E Rice (G_{mm}) y la G. E bulk (G_{mb}) de la MAC.
- Separar las briquetas en dos subgrupos, la mitad debe ser ensayado en seco y el resto después de una saturación y acondicionamiento de congelamiento – deshielo.
- Colocar los especímenes al contenedor de vacío. Aplicar y remover el vacío y dejar el espécimen sumergido no más de 10 minutos. Determinar el Psss.
- Colocar las probetas en la congeladora a una temperatura de $-18^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ por 16 horas como mínimo. Pasado el tiempo, sacar dichas probetas de la congeladora.
- Para el acondicionamiento de deshielo, colocar los especímenes en un baño con agua a $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 ± 1 horas. Pasado el tiempo, remover las probetas.
- Colocar las briquetas en un baño de agua a $25^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ por 2 horas ± 10 m.
- Por último, someter los especímenes al ensayo de tracción indirecta y determinar el esfuerzo a compresión máximo en la máquina de ensayo hasta que resulte una fisura vertical.

Cálculos:

La resistencia de MAC al efecto dañino del agua se obtiene mediante:

$$\text{Razón del Esfuerzo a Tensión (TSR)} = \frac{S_2}{S_1}$$

Donde:

- S₁ = Media del esfuerzo tensivo del grupo seco
 S₂ = Media del esfuerzo tensivo del grupo acondicionado

Ensayo Rueda de Hamburgo – AASHTO T 324

Se utiliza para evaluar la durabilidad del pavimento frente al desgaste por deformación. Este procedimiento, ampliamente reconocido, mide la susceptibilidad de las mezclas asfálticas a la deformación permanente y al daño por humedad. Durante la prueba, se sumergen especímenes cilíndricos, con un diámetro de aproximadamente 150 mm y una altura de 62 mm, en un baño de agua a una temperatura controlada entre 40°C y 50°C, mientras son sometidos a carga por llantas en el equipo de la Rueda de Hamburgo. Los resultados del ensayo permiten determinar la tasa de deformación en la profundidad de la huella generada por la rueda, así como el número de pasadas hasta que la muestra presenta falla, de acuerdo con las especificaciones T-324 (con un límite de profundidad máxima de huella de 12.5 mm después de 20,000 pasadas) [7]. El fenómeno de ahuellamiento, que se refiere a la deformación vertical permanente acumulada en el pavimento debido al paso constante de vehículos, resulta en la formación de depresiones a lo largo de la superficie asfáltica, alineadas con la trayectoria de las llantas.

Ensayo de Resistencia a la Fatiga – AASHTO T 321

Se centra en el fenómeno de fatiga, que es uno de los principales mecanismos de deterioro en las mezclas asfálticas utilizadas en pavimentos. Este fenómeno se produce cuando las capas del pavimento, particularmente en estructuras flexibles, sufren deformaciones de tracción significativas en la parte inferior de la capa asfáltica debido a las cargas repetidas de los vehículos. La acción continua de estos vehículos provoca que la capa asfáltica se doble, generando tensiones de tracción en su extremo inferior. Esta repetición de carga lleva a la pérdida de rigidez de la mezcla asfáltica, resultando en deformaciones plásticas que pueden dar lugar a microfisuras. El estándar AASHTO T-321 aborda este deterioro mediante un ensayo que simula los efectos del tránsito vehicular sobre el pavimento asfáltico. Durante la prueba, las muestras son sometidas a deformaciones controladas de 250, 300, 400 y 500 microstrain (us), lo que provoca gradualmente la pérdida de rigidez hasta alcanzar el 50% de su rigidez inicial, un umbral considerado como el punto de fallo por fatiga. Además, este estándar establece que se apliquen cargas sinusoidales repetidas en un rango de frecuencia de

5 a 10 Hz, forzando a la muestra a regresar a su posición original tras cada ciclo de carga, es decir, sin deflexiones al finalizar.

Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste – MTC E 515

El ensayo Cántabro permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico. Implica colocar muestras en un tambor cilíndrico rotatorio (Máquina de los Ángeles) y someterlas a impactos repetidos. Este ensayo simula las condiciones de desgaste y abrasión a las que estarían expuestas las mezclas asfálticas durante su uso en carreteras.

Procedimiento:

- Se determina la masa inicial de cada espécimen antes de ensayarlo. Se debe dejar enfriar un mínimo de 6 horas antes de realizar el ensayo
- Se coloca un espécimen a la Máquina de los Ángeles y se hace girar durante 300 revoluciones sin la carga de las bolas de acero.
- Terminadas las revoluciones, se saca la probeta y se determina nuevamente su masa.

Cálculos:

El desgaste se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

P₁ = Peso inicial, g

P₂ = Peso final, g

Materiales y métodos

Tipo y Nivel de Investigación

De acuerdo con los datos a analizar, la tesis tendrá un tipo de investigación CUANTITATIVO. Según [14], el enfoque cuantitativo refiere a que cada etapa es secuencial; es decir, una depende de la otra. Por lo tanto, el proceso de los ensayos para las mezclas asfálticas debe ser riguroso y probatorio.

La naturaleza de la investigación implica una serie de procedimientos sistemáticos, críticos y basados en la evidencia que se usan para tratar de resolver el problema de investigación. En otras palabras, se usarán los datos recogidos de los ensayos realizados a las mezclas asfálticas y se analizarán para probar y responder la hipótesis planteada.

Diseño de Investigación

La finalidad de la investigación será demostrar la hipótesis, entonces el diseño de esta será del tipo EXPERIMENTAL. Puesto que, se manejarán o manipularán las variables independientes de forma premeditada e intencional para luego medir las variables dependientes; es decir, se añadirá el polvo de desecho de piedra triturada en diferentes porcentajes con relación al peso del filler que constituye según diseño de mezcla del concreto bituminoso PEN 60/70 para medir su durabilidad frente al agua y al desgaste.

Población

La población estará conformada por los especímenes y/o briquetas de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada reemplazando el polvo de desecho de piedra chancada en varios porcentajes.

Muestra

Para obtener el número de muestras requeridas para la investigación, se tomó en cuenta 2 fases: El número de muestras para la MAC Convencional y el número de muestras para la MAC Modificada y porcentajes óptimos. Para cada fase, primero se deliberó el número de tratamientos (porcentajes de asfalto y adición de polvo residual de piedra triturada) según antecedentes que hayan operado con las mismas variables; una vez obtenida la cantidad de tratamientos se procedió a sacar el número de muestras de manera estadística utilizando un Análisis de Varianza Unifactorial.

Primera Fase: MAC Convencional

Análisis de porcentajes según antecedentes:

Tabla 1: Análisis de porcentajes de asfalto según antecedentes

Antecedentes	VARIABLES COMUNES	Porcentajes de asfalto utilizado	Porcentaje Óptimo
[7]	Asfalto PEN 60/70	4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%	5.45%
[8]	Asfalto PEN 60/70	4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%	5.7%
	Agregado Tres Tomas		
[4]	Asfalto PEN 60/70	3.5%, 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%	5.25%

Fuente: Elaboración propia

La propia metodología Marshall requiere trabajar con un porcentaje óptimo que cumpla todos los criterios de diseño, este se deriva de pruebas anteriores con porcentajes planteados. Según los antecedentes plasmados en el cuadro, los porcentajes óptimos de cada investigación son similares, sin embargo, cada investigación es única y autónoma. Por eso, para esta tesis se determinó el uso de 4 porcentajes de asfalto patrones (tratamientos).

Número de muestra:

Para el cálculo del tamaño de muestra, se hizo uso del paquete “pwr”, del software de RStudio versión 4.3.2., considerando valores estándar según [20], el nivel de significancia es de 0.05, la potencia de 80.0%, y el tamaño del efecto de D de Cohen de 0.50 (efecto medio), de modo que, considerando cuatro porcentajes o tratamientos (4.5%; 5%; 5.5%; 6%), tenemos que el número de briquetas por porcentaje para estabilidad y flujo Marshall es de 12 unidades, haciendo un total de 48 briquetas, la misma que fue obtenida mediante la siguiente sintaxis en dicho programa estadístico:

Ilustración 10: Análisis de Varianza Unifactorial en RStudio

```
> library(pwr)
> panova=pwr.anova.test(k =4 , f =0.5 , sig.level=0.05 , power =0.80 )
> panova

Balanced one-way analysis of variance power calculation

      k = 4
      n = 11.92611
      f = 0.5
sig.level = 0.05
power = 0.8

NOTE: n is number in each group
```

Fuente: Elaboración propia

Donde:

k : Número de tratamientos (porcentajes).
f : Tamaño del efecto (según D de Cohen).

sig.level : Nivel de significancia.
 power : Poder estadístico.

Por lo tanto, la cantidad de especímenes o briquetas quedaría de la siguiente manera:

Tabla 2: Cantidad de muestras MAC Convencional

MAC PEN 60/70 Convencional	
% Asfalto	Estabilidad/Flujo
4.5	12
5	12
5.5	12
6	12
Total N° briquetas	48

Fuente: Elaboración propia

Segunda Fase: MAC Modificada y Combinaciones Óptimas

Análisis de porcentaje según antecedente:

[8] trabajó con similares variables independientes, tanto asfalto como adición de polvo de ladrillo. En sus porcentajes propuestos respecto a la MAC modificada iba variando los porcentajes que representaba el material convencional y la adición respecto al porcentaje que representaba el filler en la mezcla asfáltica. Es decir, los porcentajes que realizó son: 80% cal – 20% polvo de ladrillo, 60% cal – 40% polvo de ladrillo, 50% cal – 50% polvo de ladrillo, 40% cal – 60% polvo de ladrillo, 20% cal – 80% polvo de ladrillo, 100% polvo de ladrillo. Por lo tanto, para esta tesis se combinó cada combinación con cada porcentaje de asfalto patrón propuesto para sacar el número de tratamientos, presentado en el siguiente cuadro:

Tabla 3: Número de tratamientos MAC Modificada

Tratamientos	
Combinación	% Asfalto
80% Cal - 20% Polvo residual	4.5
	5
	5.5
	6
60% Cal - 40% polvo Residual	4.5
	5
	5.5
	6
50% Cal - 50% Polvo Residual	4.5
	5
	5.5
	6
40% Cal - 60% Polvo Residual	4.5
	5
	5.5
	6
20% Cal - 80% Polvo Residual	4.5
	5
	5.5
	6
100% Polvo Residual	4.5
	5
	5.5
	6
Total Tratamientos	24

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, por la naturaleza del Método Marshall, se consideró los porcentajes óptimos obtenidos de la MAC convencional y modificada como tratamientos en relación con los ensayos Test de Lottman Modificado y Cántabro. Es decir, MAC convencional y modificada en relación con Test de Lottman Modificado y MAC convencional y modificada en relación con el ensayo Cántabro. Sumando en total 4 tratamientos más, expresados en la siguiente tabla:

Tabla 4: Tratamientos MAC óptimos

Tratamientos		
MAC Óptima	Ensayo	
Convencional	Lottman	Cántabro
Modificada	Lottman	Cántabro
Total Tratamientos	4	

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el número de tratamientos totales para la segunda fase serían 28.

Número de muestra:

Al igual que la primera fase, el tamaño de muestra por grupo se realizó de manera estadística en el software RStudio, expresado en la siguiente sintaxis:

Ilustración 11: Análisis de Varianza Unifactorial en RStudio - MAC modificada

```
> panova=pwr.anova.test(k =28 , f =0.5 , sig.level=0.05 , power =0.80 )
> panova

Balanced one-way analysis of variance power calculation

      k = 28
      n = 4.131958
      f = 0.5
sig.level = 0.05
power = 0.8

NOTE: n is number in each group
```

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo que el número de briquetas por cada tratamiento son 5, en relación con la propiedad que se desea evaluar: Estabilidad/flujo, susceptibilidad al agua (condiciones secas y saturadas), desgaste. En los siguientes cuadros se muestra la distribución de especímenes:

Tabla 5: Cantidad de muestras MAC modificada

Mezcla Modificada							
% Asfalto	Combinación						Estabilidad/ Flujo
	80% - 20%	60% - 40%	50% - 50%	40% - 60%	20% - 80%	100%	
4.5	5	5	5	5	5	5	30
5	5	5	5	5	5	5	30
5.5	5	5	5	5	5	5	30
6	5	5	5	5	5	5	30
Total N° briquetas							120

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Cantidad de muestras Ensayo Lottman Modificado

Test de Lottman Modificado		
MAC Óptima	Susceptibilidad al Agua	
	Condiciones Normales	Saturación y Congelamiento /Deshielo
Convencional	5	5
Modificada	5	5
Total N° briquetas:	20	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Cantidad de muestras Ensayo Cántabro

Ensayo Cántabro	
MAC Óptima	Pérdida por Desgaste
Convencional	5
Modificada	5
Total N° briquetas:	10

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la cantidad total de muestras para toda la investigación será de 198 briquetas. Donde se detalla a continuación:

Tabla 8: Cantidad de muestras totales

Descripción	Cantidad
Muestra MAC Convencional	48
Muestra MAC Modificada	120
Muestra MAC Óptimas	30
N° Total Briquetas	198

Fuente: Elaboración propia

Criterios de Selección

Al seleccionar las muestras se tomarán los criterios basándose en el Manual de Ensayos del MTC, la Norma ASTM y la normativa AASHTO, donde algunas indicaciones dicen que:

- Se deberá evaluar briquetas de 102 milímetros de diámetro (4 pulgadas) y 64 milímetros de altura (2.5 pulgadas) aproximadamente.
- Las briquetas deberán estar hechas con agregados de tamaño máximo no mayor a 25 milímetros.
- Las muestras estarán libres de deformaciones e irregularidades en sus dimensiones, así como también libre de defectos en su composición.

Operacionalización de Variables

Variable Independiente

Mezcla asfáltica PEN 60/70 modificada con polvo de desecho de piedra chancada

Mezcla asfáltica PEN 60/70 convencional

Variable Dependiente

Propiedades mecánicas y de durabilidad de la MAC

Cuadro de Operacionalización de Variables

Tabla 9: Cuadro de operacionalización de variables

Variable	Descripción	Dimensión	Indicadores	Instrumentos	Normativa/ Ensayos
Independiente	MAC PEN 60/70 Convencional	Porcentaje óptimo de CA	Asfalto PEN 60/70	Ficha Técnica	Tabla EG - 415 - 02
			Agregado Grueso	Granulometría, Abrasión Los Angeles, Partículas Chatas y Alargadas, Sales Solubles, Durabilidad, Caras Fracturadas, Absorción	MTC E 204, MTC E 207, ASTM 4791, MTC E 219, MTC E 209, MTC E 210, MTC E 206
	MAC PEN 60/70 Modificada con Polvo de Desecho de Piedra Chancada	Relación óptima de cal polvo residual en el filler de MAC Modificada	Agregado Fino	Granulometría, E. Arena, Durabilidad al MgSO ₄ , Sales Solubles, Absorción, Índice de Plasticidad	MTC E 204, MTC E 114, MTC E 222, MTC E 219, MTC E 205
			Filler (Ca) Filler (Polvo de Desecho de Piedra Chancada)	Ficha Técnica Fluorescencia de Rayos X	- -
Dependiente	Propiedades de MAC Convencional y Modificada	Volumétricas	Densidad	Gravedad Específica Aparente	MTC E 506, ASTM D 1188
			Vacios Totales de Aire de la Mezcla	%Vacíos de Aire, Gravedad Específica Aparente, Gravedad Específica Teórica Máxima	MTC E 505, MTC E 506, MTC E 508, ASTM 3203
			VMA	Gravedad Específica Aparente, Contenido de Asfalto	MTC E 506, ASTM D 1559
		Mecánicas	Estabilidad	Resistencia Marshall	MTC E 504, ASTM D 1559
			Flujo	Resistencia Marshall	MTC E 504, ASTM D 1559
		Durabilidad	Susceptibilidad al Agua	Test de Lottman Modificado	MTC E 522, AASHTO T 283
			Pérdida por Desgaste	Ensayo Cántabro	MTC E 515

Fuente: Elaboración propia

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Según [15] las técnicas a usar serán la observación y pruebas estandarizadas. La primera, para registrar los datos obtenidos de los ensayos a realizar; a su vez, la segunda técnica para llegar a los datos requeridos. Es decir, por naturaleza de la investigación, se observará y registrará los datos obtenidos que arrojen los ensayos (pruebas estandarizadas).

Los instrumentos para la recolección de datos serán:

- Fichas de laboratorio
- Guías de ensayos del MTC
- Guías de ensayos ASTM
- Guías de ensayos AASHTO

Procedimientos de Recolección de Datos

Ensayo Químico Fluorescencia Rayos X

Para caracterizar el polvo de desecho de trituración de piedra chancada se visitó la chancadora “Castillo localizada en la provincia de Ferreñafe – Lambayeque. Se obtuvo el material para luego llevarlo a laboratorio

Ilustración 12: Obtención de polvo residual de piedra chancada



Luego, se procedió a sacar la muestra representativa tamizando por la malla N°200 ya que este material representará al filler en la mezcla asfáltica modificada.

Ilustración 13: Muestra representativa



Ensayos para comprobar la calidad de agregados

Tomando en cuenta el procedimiento descrito en las bases teóricas, se realizaron los ensayos basados en las normativas correspondientes. Se tomaron los datos necesarios para procesar los resultados según indica el Método Marshall.

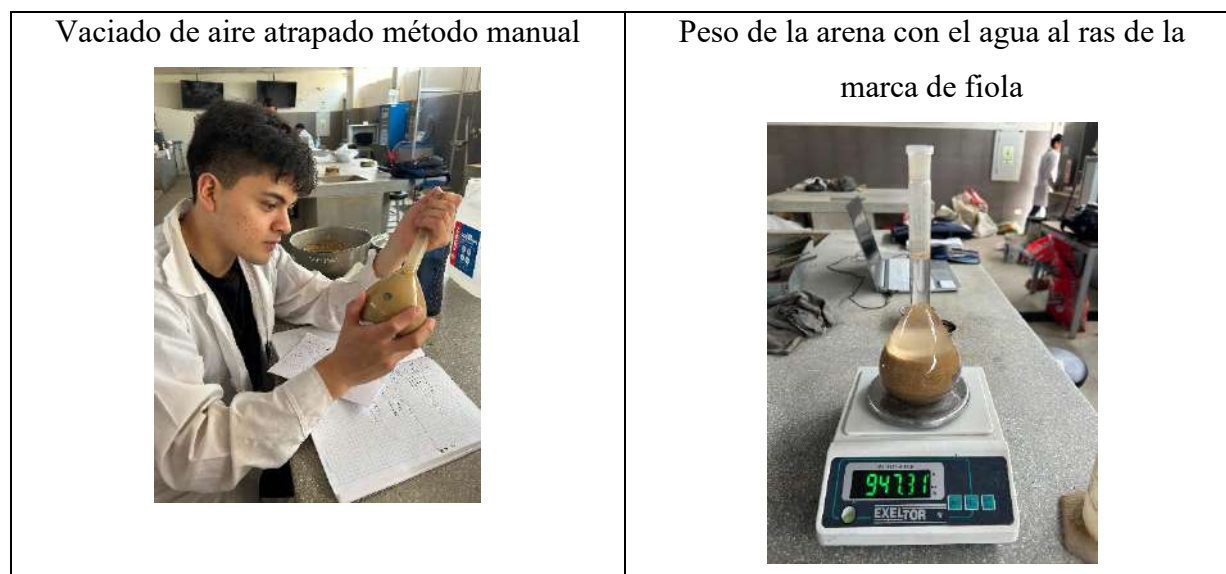
Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos – MTC E 205

Tabla 10: Datos para Absorción

Datos		
Descripción	Cantidad	Unidad
Peso de Tara	83.00	g
Peso de Muestra + Tara	583.00	g
Peso Fiola	143.20	g
Peso Muestra Saturada Superficialmente Seca + Fiola + Agua	947.31	g
Peso Muestra Seca en el Horno	498.10	g

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14: Ensayo Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos



Fuente: Elaboración propia

Determinación del Límite Plástico (L. P) de los Suelos e Índice de Plasticidad (I. P)

Malla N° 40

La cantidad de agregado fino que pasa la malla N° 40 no presentó IP ya que al saturarla y dejarla reposar por 24h esta no se comportaba como un material plástico. No absorbía el agua para que se comportase como tal y no era posible formar los rollitos o cilindros de 3.2mm según ensayo.

Ilustración 15: Ensayo Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad

Tamizado de la arena por malla N° 40	Verificación de Índice de Plasticidad nulo
--------------------------------------	--



Fuente: Elaboración propia

Malla N° 200

Tabla 11: Datos para Límite Líquido y Límite Plástico

Datos					
Descripción	Límite Líquido			Límite Plástico	Unidad
N° Tarro	12	15	16	20	-
N° Golpes	31	26	16	-	-
Tarro + Suelo Húmedo	27.37	21.1	34.4	12.06	g
Tarro + Suelo Seco	22.81	17.97	28.01	11.09	g
Peso de Tarro	7.21	7.45	7.47	7.45	g

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16: Ensayo Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad



Fuente: Elaboración propia

Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos – MTC E 206

Tabla 12: Datos para Absorción

Datos		
Descripción	Cantidad	Unidad
Peso Muestra Saturada Superficialmente Seca	1951.00	g
Peso Canastilla	896.00	
Peso muestra saturada dentro del agua + Peso Canastilla	2111.00	g
Peso Muestra Seca Horno	1940.80	g

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17: Ensayo Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos



Fuente: Elaboración propia

Abrasión Los Ángeles al Desgaste de los Agregados – MTC E 207

Tabla 13: Datos para Desgaste por Abrasión

Datos		
Descripción	Valor/Cantidad	Unidad
Gradación	B	
Peso Inicial 3/4" - 1/2"	2500	g
Peso Inicial 1/2" - 3/8"	2500	g
Peso Retenido en el Tamiz N°12	4491.7	g

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18: Ensayo Abrasión Los Ángeles al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5mm (1 1/2")

Colocación del agregado en	Desgaste del material pétreo	Masa final del agregado
----------------------------	------------------------------	-------------------------



Fuente: Elaboración propia

Durabilidad al Sulfato de Magnesio – MTC E 209

Agregado Grueso

Tabla 14: Datos para Durabilidad al $MgSO_4$

Datos				
Pasa	Retiene	Peso Inicial	Peso Final	Unidad
3/4"	1/2"	1000	960	g
1/2"	3/8"	1000	954	g
3/8"	N° 4	250	243	g

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19: Ensayo Durabilidad al $MgSO_4$



Fuente: Elaboración propia

Agregado Fino

Tabla 15: Datos para Durabilidad al MgSO₄

Datos				
Pasa	Retiene	Peso Inicial	Peso Final	Unidad
3/8"	N° 4	100	74.53	g
N° 4	N° 8	100	90	g
N° 8	N° 16	100	90	g
N° 16	N° 30	100	68	g
N° 30	N° 50	100	72	g
N° 50	N° 100	100	71	g

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20: Ensayo Durabilidad al Sulfato de Magnesio



Fuente: Elaboración propia

Partículas Chatas y Alargadas en Agregados – MTC E 223

Tabla 16: Datos para Partículas Chatas y Alargadas

Tamiz	Peso Retenido			Unidad
	Ag. Grueso	Chatas	Alargadas	
1/2"	500	15	4	g
3/8"	200	18	25	g
1/4"	180	10	14.3	g
Total	880	43	43.3	g

Fuente: Elaboración propia

Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso – MTC 210

Tabla 17: Datos para Determinar Partículas con una, dos o más Caras Fracturadas

Datos				
Pasa	Retenido	Muestra Total	Con 1 Cara Fracturada	Unidad
1"	3/4"	1.004	0.877	kg
3/4"	1/2"	0.611	0.529	kg
1/2"	3/8"	0.254	0.234	kg
Pasa	Retenido	Muestra Total	Con 2 o más Caras Fracturadas	Unidad
1"	3/4"	1.004	0.784	kg
3/4"	1/2"	0.611	0.476	kg
1/2"	3/8"	0.254	0.199	kg

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21: Ensayo para la Determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso



Fuente: Elaboración propia

Sales Solubles en Agregados para Pavimentos Flexibles – MTC E 219

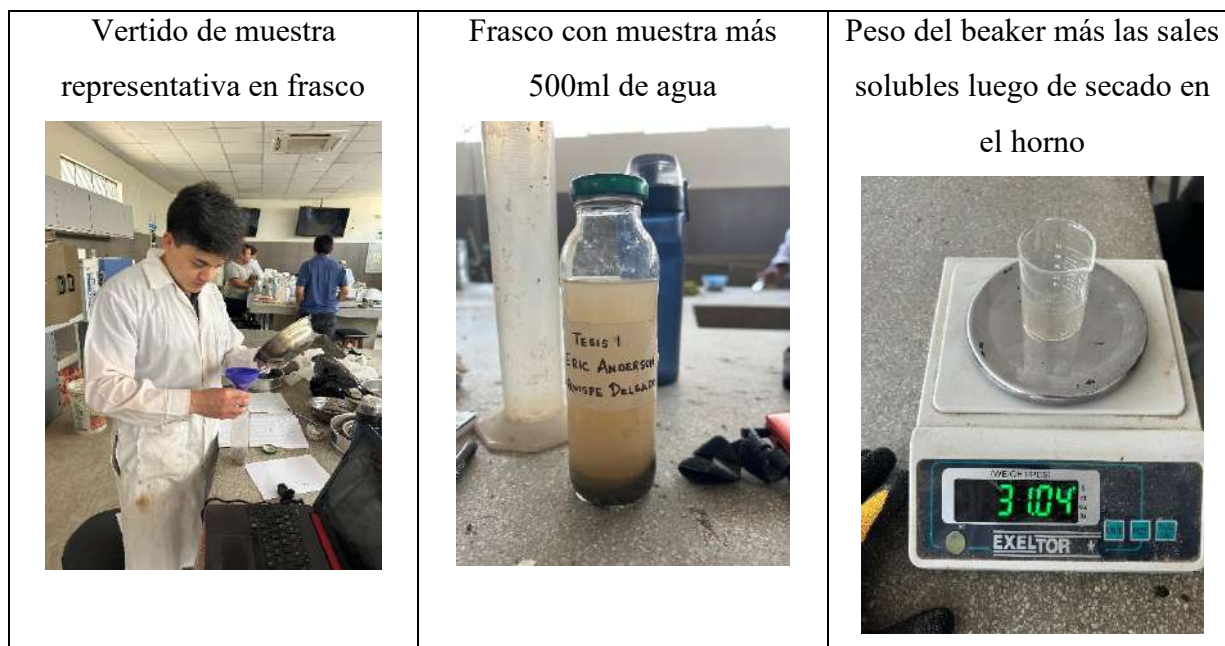
Agregado Grueso

Tabla 18: Datos para Obtener la Cantidad de Sales Solubles

Datos		
Descripción	Cantidad	Unidad
Peso Muestra	50	g
Relación Muestra Suelo - Agua Destilada	5	g
Peso Beaker	30.90	g
Peso Beaker + Residuos Sales	31.04	g

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22: Ensayo Sales Solubles en Agregados para Pavimentos Flexibles



Fuente: Elaboración propia

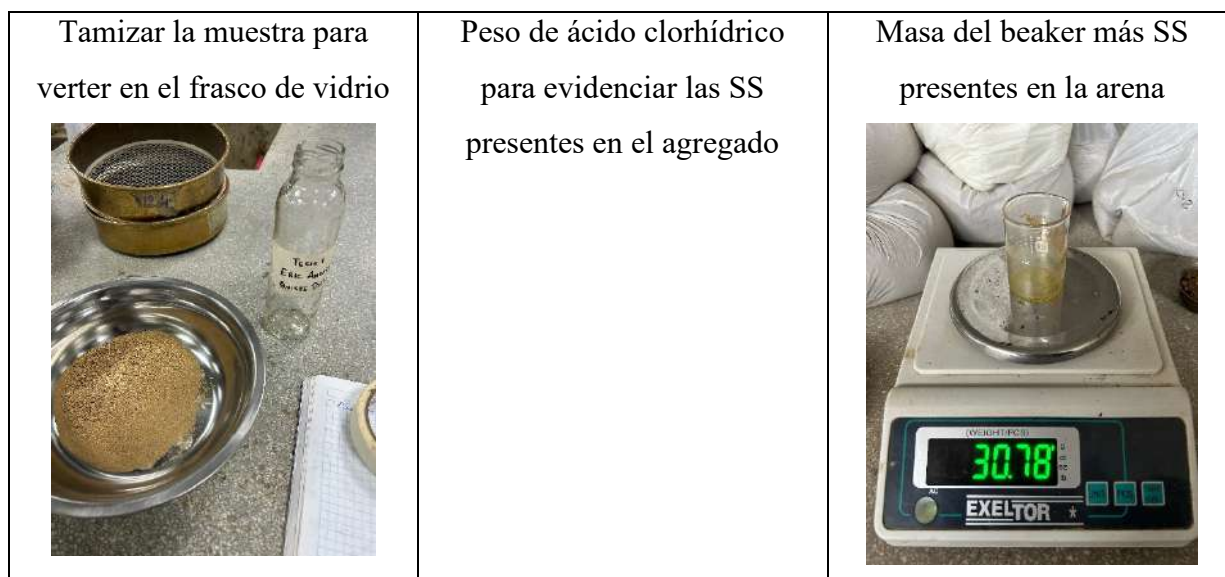
Agregado Fino

Tabla 19: Datos para Obtener la Cantidad de Sales Solubles

Datos		
Descripción	Cantidad	Unidad
Peso Muestra	50	g
Relación Muestra Suelo - Agua Destilada	5	g
Peso Beaker	30.73	g
Peso Beaker + Residuos Sales	30.78	g

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23: Ensayo Sales Solubles en Agregados para Pavimentos Flexibles





Fuente: Elaboración propia

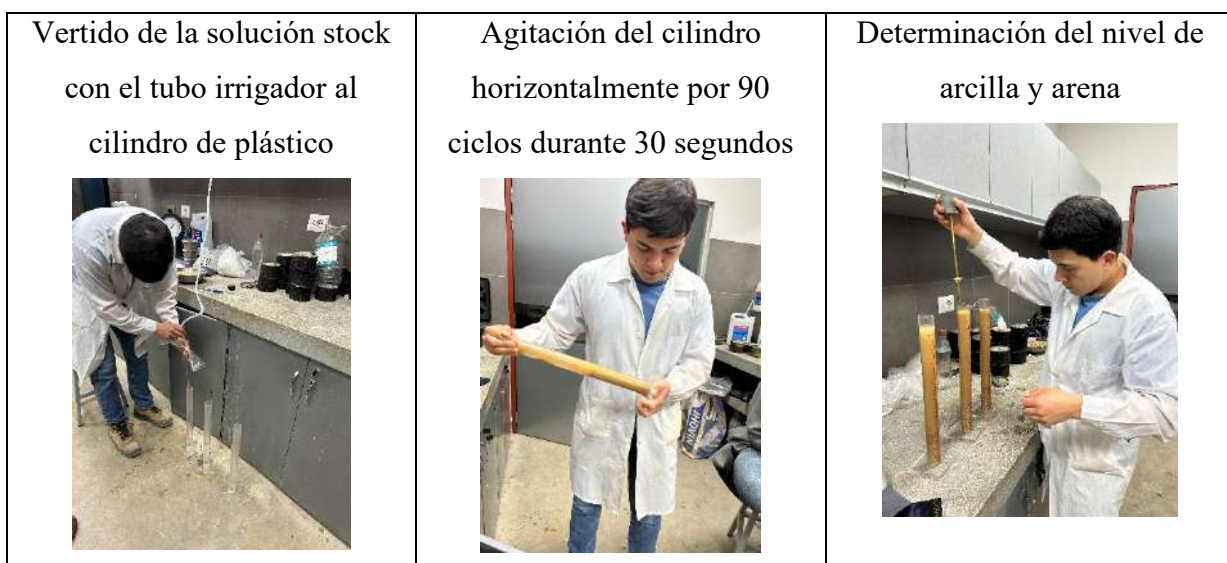
Equivalente de Arena – MTC E 114

Tabla 20: Datos para obtener el Equivalente de Arena

Datos			
Cilindro	Arcilla	Arena	Unidad
1	8	4	in
2	7.5	4.2	in
3	7.5	4.1	in

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24: Ensayo Equivalente de Arena



Fuente: Elaboración propia

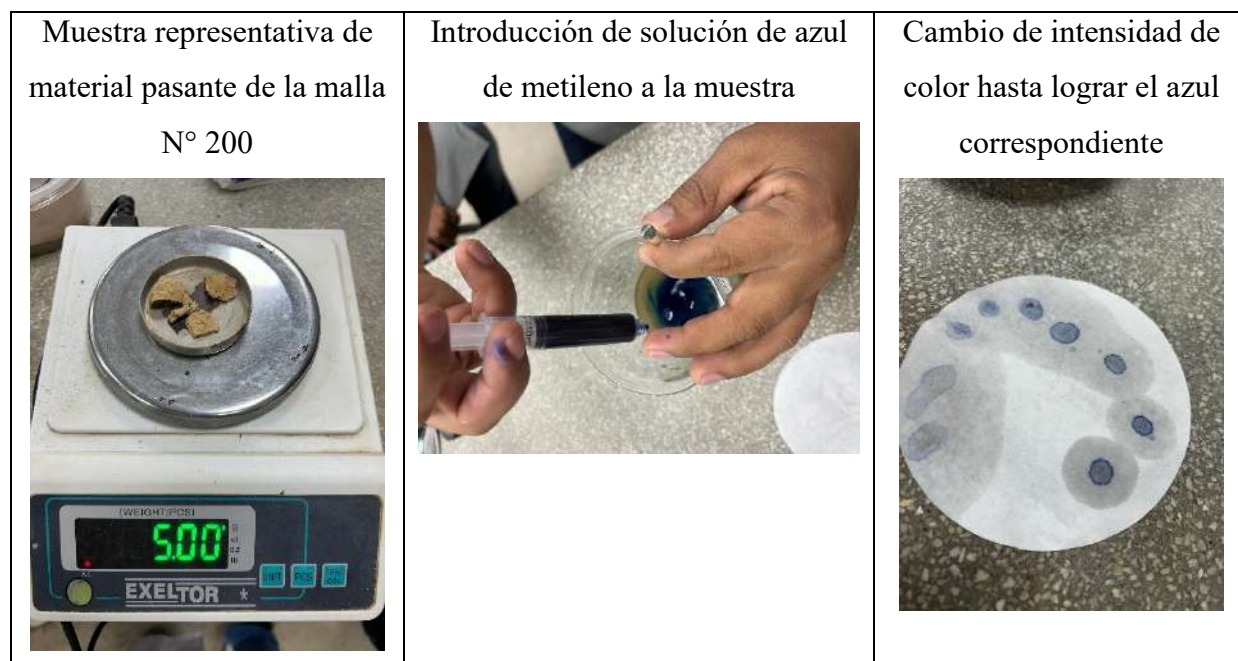
Azul de Metileno – AASHTO TP 57

Tabla 21: Datos para determinar el azul de metileno

Datos		
Descripción	Cantidad	Unidad
Peso Muestra	5	g
Volumen Añadido de Solución Colorante	10	ml

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25: Ensayo Azul de Metileno



Fuente: Elaboración propia

Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos – MTC E 204

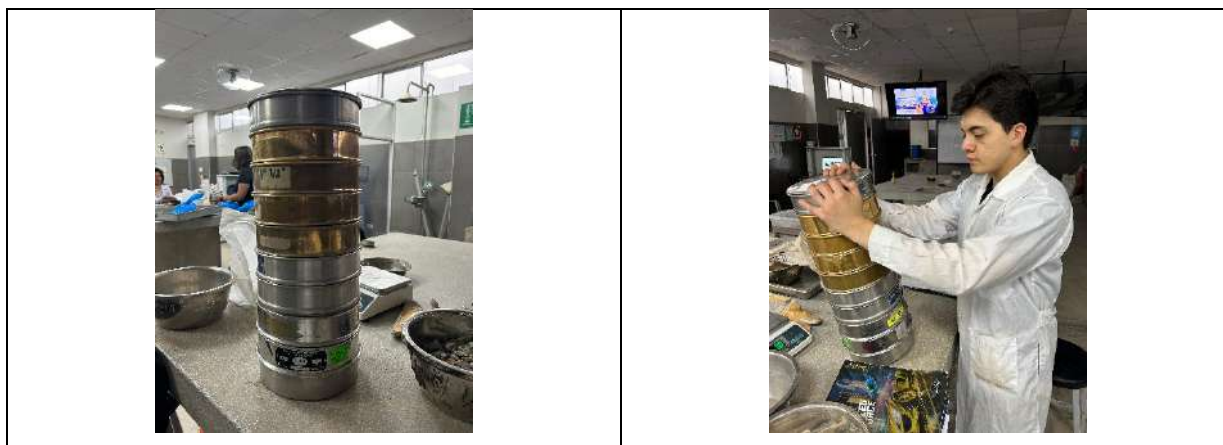
Tabla 22: Datos para Análisis y Curva Granulométrica

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)
1/2"	12.500	1012
3/8"	9.500	461
N° 4	4.750	662
N° 10	2.000	619
N° 40	0.425	1447
N° 80	0.177	333
N° 200	0.075	151

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26: Ensayo Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos

Tamices ordenados para realizar la gradación	Movimiento de los tamices para que las partículas se dividan correctamente
--	--



Fuente: Elaboración propia

Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall – MTC E 504 / AASHTO T – 245 / ASTM D 1559

Se tomarán los datos necesarios para obtener las gráficas como indica el método Marshall para el diseño de MAC convencional:

Tabla 23: Datos de MAC Convencional - 4.5% CA

Datos MAC - 4.5% CA													
Descripción	Briqueta												Unidad
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Altura	6.20	6.92	6.70	6.83	7.31	6.73	6.76	6.71	7.38	7.33	7.20	7.20	cm
Peso de la briqueta al aire	1167.20	1249.70	1207.70	1249.70	1341.40	1216.50	1206.90	1209.80	1313.50	1316.10	1315.60	1315.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1170.20	1252.90	1211.60	1254.30	1345.00	1219.90	1210.70	1212.50	1317.00	1323.40	1332.50	1332.50	g
Peso de la briqueta en el agua	672.20	724.46	697.90	722.29	758.06	696.89	687.08	698.89	741.83	748.35	766.00	786.00	g
Estabilidad sin corregir	4023.00	4574.00	3812.00	4212.00	4543.00	4710.00	4723.00	4590.00	4920.00	3904.00	3690.00	3562.00	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	32.00	31.00	28.00	30.00	31.00	34.00	27.00	36.00	26.00	28.00	32.00	35.00	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Datos de MAC Convencional - 5% CA

Datos MAC - 5% CA													
Descripción	Briqueta												Unidad
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Altura	6.29	6.23	6.11	6.12	6.31	6.63	6.04	6.34	6.47	6.30	6.36	6.75	cm
Peso de la briqueta al aire	1119.60	1070.20	1037.50	1058.10	1135.00	1196.70	1037.80	1137.80	1182.10	1120.70	1160.50	1152.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1122.40	1075.90	1044.70	1063.30	1137.20	1198.30	1044.50	1139.70	1186.50	1125.10	1162.50	1170.50	g
Peso de la briqueta en el agua	631.57	617.12	593.38	616.22	642.87	674.85	605.64	642.68	687.66	653.55	675.70	695.00	g
Estabilidad sin corregir	3312.00	2113.00	3850.00	2884.00	3870.00	3992.00	2472.00	3811.00	3872.00	3141.00	4374.00	4890.00	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	26.00	29.00	30.00	39.00	32.00	29.00	38.00	32.00	32.00	30.00	31.00	33.00	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Datos de MAC Convencional - 5.5% CA

Datos MAC - 5.5% CA													
Descripción	Briqueta												Unidad
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Altura	6.38	6.61	6.62	6.62	6.87	6.51	6.51	6.31	6.35	6.61	6.70	6.70	cm
Peso de la briqueta al aire	1183.00	1200.50	1205.00	1203.30	1262.60	1193.30	1204.70	1158.40	1140.80	1173.70	1193.80	1186.50	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1185.60	1204.90	1208.10	1206.20	1264.90	1195.80	1207.60	1161.30	1143.80	1178.50	1200.00	1210.00	g
Peso de la briqueta en el agua	669.19	677.08	678.15	677.90	719.00	676.84	684.33	656.04	640.60	661.10	664.66	689.50	g
Estabilidad sin corregir	4145.00	3850.00	4015.00	3904.00	4721.00	4553.00	4376.00	3900.00	3163.00	3192.00	2848.00	3165.00	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	29.00	29.00	32.00	30.00	29.00	31.00	32.00	32.00	29.00	31.00	32.00	31.00	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Datos de MAC Convencional - 6% CA

Datos MAC - 6% CA													
Descripción	Briqueta												Unidad
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Altura	6.38	6.66	6.38	6.68	6.55	6.36	6.12	6.17	6.27	6.31	6.20	6.20	cm
Peso de la briqueta al aire	1167.00	1194.40	1148.50	1216.50	1177.00	1169.30	1124.90	1132.80	1096.40	1226.40	1180.20	1180.20	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1169.50	1208.90	1152.70	1221.70	1179.90	1172.10	1128.90	1136.00	1101.50	1229.90	1183.00	1183.00	g
Peso de la briqueta en el agua	658.98	685.75	637.71	681.40	651.93	658.91	628.26	625.52	622.10	666.85	668.70	638.70	g
Estabilidad sin corregir	3648.00	3905.00	3607.00	3440.00	3750.00	4361.00	3908.00	3652.00	2801.00	3897.00	3541.00	3541.00	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	29.00	30.00	32.00	31.00	29.00	32.00	31.00	30.00	32.00	34.00	28.00	29.00	pulg

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se tomarán los datos necesarios para obtener las gráficas como indica el método Marshall para el diseño de MAC modificada:

Tabla 27: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_80% Cal – 20% Polvo Residual

Datos MAC - 4.5% CA_80% Cal - 20% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.51	6.54	6.47	6.26	6.23	cm
Peso de la briqueta al aire	994.80	1166.00	1117.40	1136.80	1132.50	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	999.16	1178.34	1128.50	1145.72	1142.30	g
Peso de la briqueta en el agua	540.55	642.23	621.52	632.15	625.30	g
Estabilidad sin corregir	1623.00	1892.00	2208.00	2090.00	2136.00	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	34.00	37.00	31.00	28.00	25.00	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_60% Cal – 40% Polvo Residual

Datos MAC - 4.5% CA_60% Cal - 40% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.78	5.63	5.86	5.57	6.10	cm
Peso de la briqueta al aire	1026.30	1001.00	1045.30	1022.40	1125.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1135.79	1023.07	1060.59	1032.85	1136.50	g
Peso de la briqueta en el agua	672.36	550.74	578.73	564.66	620.60	g
Estabilidad sin corregir	2033	1308	2083	2522	2760	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	32	35	33	37	32	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_50% Cal – 50% Polvo Residual

Datos MAC - 4.5% CA_50% Cal - 50% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.74	5.87	5.73	5.86	5.90	cm
Peso de la briqueta al aire	1015.10	1017.20	1038.60	1060.10	1063.50	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1031.39	1030.58	1050.53	1075.08	1087.90	g
Peso de la briqueta en el agua	551.00	547.27	572.71	582.88	596.00	g
Estabilidad sin corregir	1684	1445	1900	2213	2160	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	31	35	30	30	29	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_40% Cal – 60% Polvo Residual

Datos MAC - 4.5% CA_40% Cal - 60% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.65	5.98	6.04	5.84	5.90	cm
Peso de la briqueta al aire	1000.80	1019.80	1074.40	1054.00	1052.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1014.68	1054.96	1088.98	1066.99	1062.60	g
Peso de la briqueta en el agua	539.85	560.26	585.63	583.08	575.60	g
Estabilidad sin corregir	1493	674	1751	2383	2650	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	35	35	34	35	36	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_20% Cal – 80% Polvo Residual

Datos MAC - 4.5% CA_20% Cal - 80% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	6.30	5.32	6.41	6.25	6.10	cm
Peso de la briqueta al aire	1112.10	956.70	1167.70	1133.90	1135.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1120.37	966.10	1185.58	1142.23	1146.50	g
Peso de la briqueta en el agua	614.68	515.30	648.03	628.55	635.50	g
Estabilidad sin corregir	3995	3864	3896	3638	3690	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	31	30	30	31	32	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Datos MAC Modificada – 4.5% CA_100% Polvo Residual

Datos MAC - 4.5% CA_100% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	6.22	6.13	5.65	5.72	6.10	cm
Peso de la briqueta al aire	1115.00	1069.20	1022.00	1022.60	1011.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1128.69	1084.26	1033.13	1030.81	1025.60	g
Peso de la briqueta en el agua	683.05	606.30	557.15	585.32	615.00	g
Estabilidad sin corregir	2714	1871	2214	2623	2789	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	33	34	31	31	32	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Datos MAC Modificada – 5% CA_80% Cal – 20% Polvo Residual

Datos MAC - 5% CA_80% Cal - 20% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.12	5.83	5.97	6.12	6.21	cm
Peso de la briqueta al aire	981.90	1062.40	1088.00	1125.50	1136.50	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	990.55	1070.09	1097.21	1134.38	1141.20	g
Peso de la briqueta en el agua	501.10	601.83	621.02	644.34	645.30	g
Estabilidad sin corregir	2310.00	2882.00	3072.00	3210.00	3165.00	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	27.00	33.00	30.00	29.00	28.00	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Datos MAC Modificada – 5% CA_60% Cal – 40% Polvo Residual

Datos MAC - 5% CA_60% Cal - 40% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	6.20	6.66	5.96	5.59	6.05	cm
Peso de la briqueta al aire	1157.50	1112.00	1077.40	988.40	1124.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1165.04	1117.60	1086.36	1040.00	1132.00	g
Peso de la briqueta en el agua	650.90	632.31	615.85	560.99	620.00	g
Estabilidad sin corregir	2210	2273	2251	1570	2150	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	33	34	32	30	31	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Datos MAC Modificada – 5% CA_50% Cal – 50% Polvo Residual

Datos MAC - 5% CA_50% Cal - 50% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.54	5.45	6.36	6.30	6.20	cm
Peso de la briqueta al aire	1019.90	1085.00	1146.00	1121.10	1115.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1024.74	1094.66	1153.67	1129.59	1126.30	g
Peso de la briqueta en el agua	568.71	611.75	628.33	635.34	623.50	g
Estabilidad sin corregir	4045	3747	3343	4078	3980	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	28	32	30	30	32	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Datos MAC Modificada – 5% CA_40% Cal – 60% Polvo Residual

Datos MAC - 5% CA_40% Cal - 60% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	6.21	6.11	5.28	6.26	6.10	cm
Peso de la briqueta al aire	1115.10	1110.70	924.70	1176.10	1165.90	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1123.66	1120.84	941.97	1184.13	1176.90	g
Peso de la briqueta en el agua	603.75	611.78	465.00	651.01	675.00	g
Estabilidad sin corregir	2134	2264	1289	2742	2769	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	34	33	30	31	35	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: Datos MAC Modificada – 5% CA_20% Cal – 80% Polvo Residual

Datos MAC - 5% CA_20% Cal - 80% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.96	5.95	5.76	6.23	6.30	cm
Peso de la briqueta al aire	1027.90	1059.20	1027.10	1127.30	1128.90	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1042.62	1074.20	1042.65	1139.45	1141.50	g
Peso de la briqueta en el agua	551.13	584.90	568.35	624.75	635.60	g
Estabilidad sin corregir	1670	1954	2005	2539	2690	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	34	33	30	31	33	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Datos MAC Modificada – 5% CA_100% Polvo Residual

Datos MAC - 5% CA_100% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.57	6.10	6.08	6.18	6.20	cm
Peso de la briqueta al aire	1022.00	1132.20	1117.20	1140.10	1145.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1025.74	1142.64	1125.54	1148.51	1156.20	g
Peso de la briqueta en el agua	576.79	643.74	632.34	647.62	658.00	g
Estabilidad sin corregir	3996	3758	3817	3849	3856	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	32	32	31	31	36	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_80% Cal - 20% Polvo Residual

Datos MAC - 5.5% CA_80% Cal - 20% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.43	5.86	6.01	5.78	6.21	cm
Peso de la briqueta al aire	1085.60	1034.20	1152.60	1065.90	1132.50	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1092.54	1041.16	1162.60	1072.39	1142.60	g
Peso de la briqueta en el agua	609.57	575.92	648.50	595.82	624.50	g
Estabilidad sin corregir	3210.00	3150.00	3091.00	2965.00	2865.00	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	34.00	31.00	33.00	30.00	29.00	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_60% Cal - 40% Polvo Residual

Datos MAC - 5.5% CA_60% Cal - 40% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.47	5.47	6.13	6.30	6.10	cm
Peso de la briqueta al aire	1020.00	993.90	1137.80	1158.20	1126.90	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1027.79	1028.00	1174.73	1164.49	1140.60	g
Peso de la briqueta en el agua	576.77	559.32	642.30	655.80	654.60	g
Estabilidad sin corregir	2335	2250	2901	2846	2960	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	31	31	32	34	32	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_50% Cal - 50% Polvo Residual

Datos MAC - 5.5% CA_50% Cal - 50% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.68	6.24	5.45	5.74	6.10	cm
Peso de la briqueta al aire	1018.60	1162.40	1084.00	1062.80	1089.50	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1026.13	1170.13	1090.62	1059.65	1099.60	g
Peso de la briqueta en el agua	568.69	658.20	605.79	597.39	612.50	g
Estabilidad sin corregir	2743	3102	2902	2729	2980	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	30	30	31	30	32	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_40% Cal - 60% Polvo Residual

Datos MAC - 5.5% CA_40% Cal - 60% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	6.67	5.80	5.77	6.37	6.25	cm
Peso de la briqueta al aire	1095.50	1060.40	146.80	1106.60	1145.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1106.36	1071.41	1054.25	1114.56	1156.90	g
Peso de la briqueta en el agua	605.79	586.60	578.72	612.46	625.60	g
Estabilidad sin corregir	2618	2200	2512	2905	3260	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	35	34	32	32	36	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_20% Cal - 80% Polvo Residual

Datos MAC - 5.5% CA_20% Cal - 80% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	6.10	6.28	5.95	5.63	5.80	cm
Peso de la briqueta al aire	1091.70	1134.80	1040.60	995.80	986.50	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1159.00	1142.00	1096.57	1014.43	996.50	g
Peso de la briqueta en el agua	617.23	654.39	616.54	560.73	550.00	g
Estabilidad sin corregir	2626	2785	2622	1790	2650	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	32	34	32	28	29	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Datos MAC Modificada – 5.5% CA_100% Polvo Residual

Datos MAC - 5.5% CA_100% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	6.06	5.90	5.69	5.54	5.63	cm
Peso de la briqueta al aire	988.50	1023.80	978.30	983.00	995.60	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	994.78	1030.49	990.83	997.73	1003.60	g
Peso de la briqueta en el agua	532.75	551.92	543.86	548.05	524.60	g
Estabilidad sin corregir	2613	2809	2506	3540	3465	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	28	25	24	26	29	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45: Datos MAC Modificada – 6% CA_80% Cal - 20% Polvo Residual

Datos MAC - 6% CA_80% Cal - 20% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	6.24	6.22	5.28	6.06	6.12	cm
Peso de la briqueta al aire	1136.40	1146.70	971.30	1147.10	1142.50	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1142.54	1153.69	980.45	1152.55	1158.60	g
Peso de la briqueta en el agua	650.15	659.31	465.00	613.12	623.20	g
Estabilidad sin corregir	3461	4027	3128	3752	3698	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	31	30	28	27	26	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46: Datos MAC Modificada – 6% CA_60% Cal - 40% Polvo Residual

Datos MAC - 6% CA_60% Cal - 40% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	6.24	5.46	5.71	6.53	6.40	cm
Peso de la briqueta al aire	1154.20	990.50	1065.50	1187.10	1175.90	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1168.72	997.34	1076.55	1192.87	1190.50	g
Peso de la briqueta en el agua	629.54	525.29	615.40	683.42	675.80	g
Estabilidad sin corregir	2976.00	2037.00	2564.00	3224.00	3186.00	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	32.00	35.00	32.00	31.00	32.00	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47: Datos MAC Modificada – 6% CA_50% Cal - 50% Polvo Residual

Datos MAC - 6% CA_50% Cal - 50% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	6.17	5.23	6.03	6.51	6.23	cm
Peso de la briqueta al aire	1132.00	964.90	1092.50	1178.00	1175.90	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1139.49	973.38	1098.50	1192.22	1189.20	g
Peso de la briqueta en el agua	655.01	465.20	625.78	680.90	675.80	g
Estabilidad sin corregir	3324	3083	3919	3850	3798	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	27	30	34	34	36	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Datos MAC Modificada – 6% CA_40% Cal - 60% Polvo Residual

Datos MAC - 6% CA_40% Cal - 60% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	4.90	5.83	6.26	6.24	6.10	cm
Peso de la briqueta al aire	905.10	1102.70	1097.80	1164.40	1168.50	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	912.98	1109.57	1101.60	1168.39	1176.80	g
Peso de la briqueta en el agua	468.52	630.58	631.00	688.12	695.00	g
Estabilidad sin corregir	2292	2762	2990	3310	3265	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	30	32	34	35	34	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Datos MAC Modificada – 6% CA_20% Cal - 80% Polvo Residual

Datos MAC - 6% CA_20% Cal - 80% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.54	5.83	5.99	5.91	6.05	cm
Peso de la briqueta al aire	982.70	1064.70	1097.10	1087.30	1110.50	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	988.79	1073.27	1102.44	1091.59	1118.50	g
Peso de la briqueta en el agua	542.20	605.42	626.25	620.24	623.50	g
Estabilidad sin corregir	1996	2364	2642	2732	2950	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	32	31	32	33	31	pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Datos MAC Modificada – 6% CA_100% Polvo Residual

Datos MAC - 6% CA_100% Polvo Residual						
Descripción	Briqueta					Unidad
	1	2	3	4	5	
Altura	5.31	5.79	6.66	6.07	6.15	cm
Peso de la briqueta al aire	995.20	1067.10	1134.20	1152.70	1156.90	g
Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	998.43	1070.94	1138.43	1157.49	1162.30	g
Peso de la briqueta en el agua	564.19	612.48	649.67	658.36	665.30	g
Estabilidad sin corregir	3452	3670	4117	4092	4196	kg
Lectura del flexímetro (0.01")	29	29	31	32	34	pulg

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27: Ensayo Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall



Fuente: Elaboración propia

Peso Específico Teórico Máximo de Mezclas Asfálticas para Pavimentos – MTC E 508 / AASHTO T 209

Tabla 51: Datos MAC Convencional – RICE

Datos MAC Convencional					
Descripción	Porcentaje de Asfalto				Unidad
	4.5%	5%	5.5%	6%	
Peso del frasco	575	575	575	575	g
Peso del frasco + agua	2657	2555	2706	2702	g
Peso del frasco + muestra + agua	4249	4126	4246	4169	g
Peso neto de la muestra	2465	2380	2460	2360	g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52: Datos MAC Modificada – RICE_80% Cal – 20% Polvo Residual

Datos MAC Modificada_80% Cal - 20% Polvo Residual					
Descripción	Porcentaje de Asfalto				Unidad
	4.5%	5%	5.5%	6%	
Peso del frasco	725	725	725	725	g
Peso del frasco + agua	2681	2587	2650	2690	g
Peso del frasco + muestra + agua	3638	3551	3557	3622	g
Peso neto de la muestra	1500	1500	1500	1500	g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53: Datos MAC Modificada – RICE_60% Cal – 40% Polvo Residual

Datos MAC Modificada_60% Cal - 40% Polvo Residual					
Descripción	Porcentaje de Asfalto				Unidad
	4.5%	5%	5.5%	6%	
Peso del frasco	725	725	725	725	g
Peso del frasco + agua	2599	2666	2665	2668	g
Peso del frasco + muestra + agua	3556	3595	3580	3587	g
Peso neto de la muestra	1500	1500	1500	1500	g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54: Datos MAC Modificada – RICE_50% Cal – 50% Polvo Residual

Datos MAC Modificada_50% Cal - 50% Polvo Residual					
Descripción	Porcentaje de Asfalto				Unidad
	4.5%	5%	5.5%	6%	
Peso del frasco	725	725	725	725	g
Peso del frasco + agua	2608	2636	2648	2508	g
Peso del frasco + muestra + agua	3562	3553	3581	3499	g
Peso neto de la muestra	1500	1500	1500	1500	g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55: Datos MAC Modificada – RICE_40% Cal – 60% Polvo Residual

Datos MAC Modificada_40% Cal - 60% Polvo Residual					
Descripción	Porcentaje de Asfalto				Unidad
	4.5%	5%	5.5%	6%	
Peso del frasco	725	725	725	725	g
Peso del frasco + agua	2621	2655	2733	2599	g
Peso del frasco + muestra + agua	3618	3603	3652	3538	g
Peso neto de la muestra	1500	1500	1500	1500	g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56: Datos MAC Modificada – RICE_20% Cal – 80% Polvo Residual

Datos MAC Modificada_20% Cal - 80% Polvo Residual					
Descripción	Porcentaje de Asfalto				Unidad
	4.5%	5%	5.5%	6%	
Peso del frasco	725	725	725	725	g
Peso del frasco + agua	2581	2658	2710	2584	g
Peso del frasco + muestra + agua	3572	3566	3608	3582	g
Peso neto de la muestra	1500	1500	1500	1500	g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57: Datos MAC Modificada – RICE_100% Polvo Residual

Datos MAC Modificada_100% Polvo Residual					
Descripción	Porcentaje de Asfalto				Unidad
	4.5%	5%	5.5%	6%	
Peso del frasco	725	725	725	725	g
Peso del frasco + agua	2645	2625	2635	2640	g
Peso del frasco + muestra + agua	3551	3526	3422	3529	g
Peso neto de la muestra	1500	1500	1309	1500	g

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 28: Ensayo Gravedad Específica Rice



Fuente: Elaboración propia

Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste – MTC E 515

Se tomarán los datos obtenidos de la MAC convencional con porcentaje óptimo de cemento asfáltico para determinar el desgaste:

Tabla 58: Datos Ensayo Cántabro – MAC Convencional Óptima

Datos Ensayo Cántabro - MAC Convencional Óptima			
Descripción	Peso		Unidad
	Briqueta	Inicial	
1	1112.4	1018.9	g
2	1188.5	1111.5	g
3	1110.2	1010.5	g
4	1105.4	1006	g
5	1081.3	919.8	g

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, se tomarán los datos obtenidos de la MAC modificada con porcentaje óptimo de polvo residual y cemento asfáltico para determinar el desgaste:

Tabla 59: Datos Ensayo Cántabro – MAC Modificada Óptima

Datos Ensayo Cántabro - MAC Modificada Óptima			
Descripción	Peso		Unidad
	Briqueta	Inicial	
1	1182.2	1094.1	g
2	1212.7	1146	g
3	1166.4	1076.3	g
4	834.4	782.9	g
5	1170.1	1086.3	g

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 29: Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste



Fuente: Elaboración propia

Test de Lottman Modificado – AASHTO T 283 / MTC E 522

Se tomarán los datos obtenidos de la MAC convencional con porcentaje óptimo de cemento asfáltico para determinar la susceptibilidad al agua:

Tabla 60: Datos Test de Lottman Modificado - MAC Convencional Óptima

Datos Test de Lottman Modificado - MAC Convencional Óptima												
Descripción	Briquetas sometidas a Congelamiento y Saturación					Briquetas Secas					Unidad	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Antes del Ensayo	Diámetro	10.16	10.15	10.17	10.18	10.16	10.19	10.2	10.2	10.21	10.21	cm
	Espesor	6.11	6.89	6.69	6.7	6.7	6.9	6.1	6.66	6.72	6.36	cm
	Peso seco al aire	1017.9	1145.7	1131.1	1233	1145.6	1094.1	1089.6	1184.6	1175.5	1099.2	g
	PSSS	1085.9	1222.68	1201.7	1313.58	1210.5	1011.1	1096.5	1093.2	1186.3	1106.3	g
	Peso Sumergido	626.23	695.01	683.25	745.25	685.9	545.2	586.3	586.3	615.6	635.6	g
Muestra Saturada en Vacíos	PSSS	1025.00	1159.50	1145.90	1245.60	1165.50						gr
	Peso Sumergido	560.00	625.00	620.00	668.00	632.00						gr
Baño María a 60°C	PSSS	1025.60	1165.60	1145.00	1245.00	1152.00						gr
	Peso Sumergido	550.00	618.00	608.00	645.00	580.00						gr
Tracción Indirecta		310	280	275	260	309	362	325	385	336	355	kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61: Datos Test de Lottman Modificado – MAC Modificada Óptima

Datos Test de Lottman Modificado - MAC Modificada Óptima												
Descripción	Briquetas sometidas a Congelamiento y Saturación					Briquetas Secas					Unidad	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Antes del Ensayo	Diámetro	10.17	10.17	10.17	10.16	10.17	10.17	10.17	10.2	10.2	10.2	cm
	Espesor	6.35	6.7	6.65	6.8	6.78	6.54	6.7	6.29	6.66	6.7	cm
	Peso seco al aire	899.5	1125.9	1189.1	1249.6	1234	1158.6	1141.7	1072.9	1185.9	1202.2	g
	PSSS	959.6	1200.89	1267.44	1330.5	1318.41	1234.01	1220.65	1149.07	1265.58	1282.59	g
	Peso Sumergido	529.95	688.41	729.76	762.7	746.18	696.76	683.95	655.84	719.84	731.02	g
Muestra Saturada en Vacíos	PSSS	998.18	1231.10	1331.85	1350.14	1331.13						gr
	Peso Sumergido	550.54	713.91	743.57	751.10	731.26						gr
Baño María a 60°C	PSSS	970.90	1262.20	1351.80	1342.30	1306.80						gr
	Peso Sumergido	534.45	694.46	718.92	712.86	695.16						gr
Tracción Indirecta		410	415	310	450	435	465	462	370	515	535	kg

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 30: Test de Lottman Modificado



Fuente: Elaboración propia

Resultados

Caracterización del Polvo de Desecho de Piedra Chancada – Ensayo Fluorescencia de Rayos X

Tabla 62: Composición Química del Polvo de Desecho de Piedra Chancada

Composición Química	Resultados (%)
Calcio	45.36
Silicio	33.18
Aluminio	7.3
Hierro	0.64
Sodio	1.57
Magnesio	0.2
Potasio	1.55
Pérdida por Quemado	10.21

Fuente: Ensayo Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X

Se observa que el ensayo determinó los elementos químicos que componen el polvo residual de piedra chancada. Al comparar el espectro de la muestra analizada con las energías características de la tabla periódica se encontró principalmente Calcio y Silicio (45.35% y 33.18%). Debido a que el material ensayado proviene de la trituración de piedra, se infiere que la composición química es Carbonato de Calcio (CaCO_3).

Ensayos de Calidad de Agregados:

Tabla 63: Resultados de la Calidad del Agregado Grueso - Cantera Tres Tomas - Ferreñafe

Agregado Grueso			
Ensayo	Requerimiento	Resultado	Condición
Durabilidad (Al Sulfato de Magnesio)	18% máx	3.90%	Cumple
Abrasión Los Ángeles	40% máx	10.20%	Cumple
Partículas Chatas y Alargadas	10% máx	9.80%	Cumple
Caras Fracturadas	85/50	88/78	Cumple
Sales Solubles Totales	0.5% máx	0.14%	Cumple
Absorción	1% máx	0.53%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Se determinó que el agregado grueso, ensayando sus diferentes características, cumple los requisitos mínimos que exige principalmente el Método Marshall y las normativas afines para que este sea parte de una MAC.

Tabla 64: Resultados de la Calidad del Agregado Fino - Cantera La Victoria - Pátapo

Agregado Fino			
Ensayo	Requisito	Resultado	Condición
Equivalente de Arena	60%	61%	Cumple
Azul de Metileno	8 máx	2	Cumple
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	NP	NP	Cumple
Durabilidad (Al Sulfato de Magnesio)	-	19.70%	Cumple
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	4 máx	3.2	Cumple
Sales Solubles Totales	0.5% máx	0.05%	Cumple
Absorción	1% máx	0.37%	Cumple

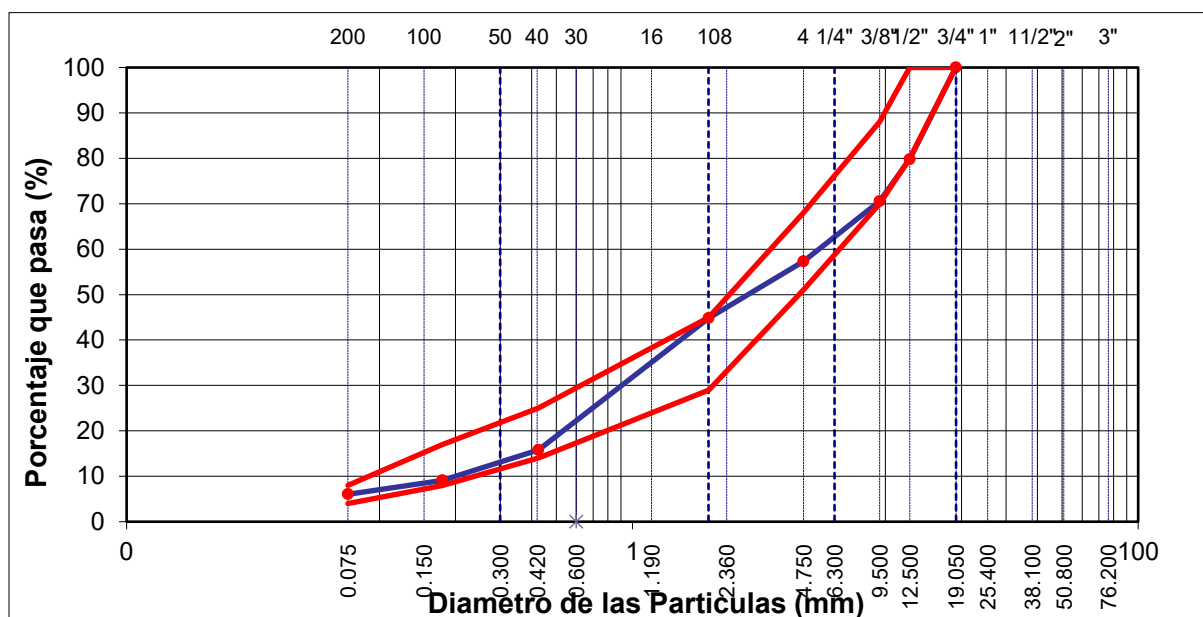
Fuente: Elaboración propia

Se determinó que el agregado fino, ensayando sus diferentes características, cumple los requisitos mínimos que exige principalmente el Método Marshall y las normativas afines para que este sea parte de una MAC.

Análisis Granulométrico de los Agregados Combinados – MTC E 204

Curva Granulométrica de la combinación de agregados:

Tipo de Gradación: MAC – 2



Fuente: Elaboración propia

Tabla 65: Combinación de Agregados que compondrán la MAC

Combinación de Agregados para MAC	
Agregado	Porcentaje (%)
Grueso	49
Fino	50
Filler	1

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la combinación de agregado grueso y fino en cantidades iguales (2500g cada uno) conforman una gradación dentro de los parámetros de una MAC – 2. Realizando un ajuste en la cantidad de árido que pasase el tamiz N°200, la MAC necesitaría un porcentaje de filler para completar la granulometría y tener la gradación que se indica. Por lo tanto, la combinación adecuada que representa el total de agregado presente en la MAC es: 49% agregado grueso, 50% agregado fino y 1% de polvo mineral en la MAC convencional y modificada.

Método Marshall – ASTM D 1559 / AASHTO T - 245

Diseño de Mezcla:

Tabla 66: Diseño de Mezcla para MAC

Diseño de Mezcla - Método Marshall				
Componente	Porcentaje (%)			
Asfalto	4.5	5	5.5	6
Grava Chancada	49	49	49	49
Arena	50	50	50	50
Filler	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

A partir de la granulometría se obtuvo el diseño de mezcla con diferentes porcentajes patrón de asfalto mencionados en metodología según antecedentes. Donde, para un 4.5% de asfalto le corresponde un 95.5% de árido en la MAC.

Por otro lado, para la mezcla modificada el diseño se mantiene, variando solo la relación cal – polvo residual según corresponda en el porcentaje del filler que representa en la MAC.

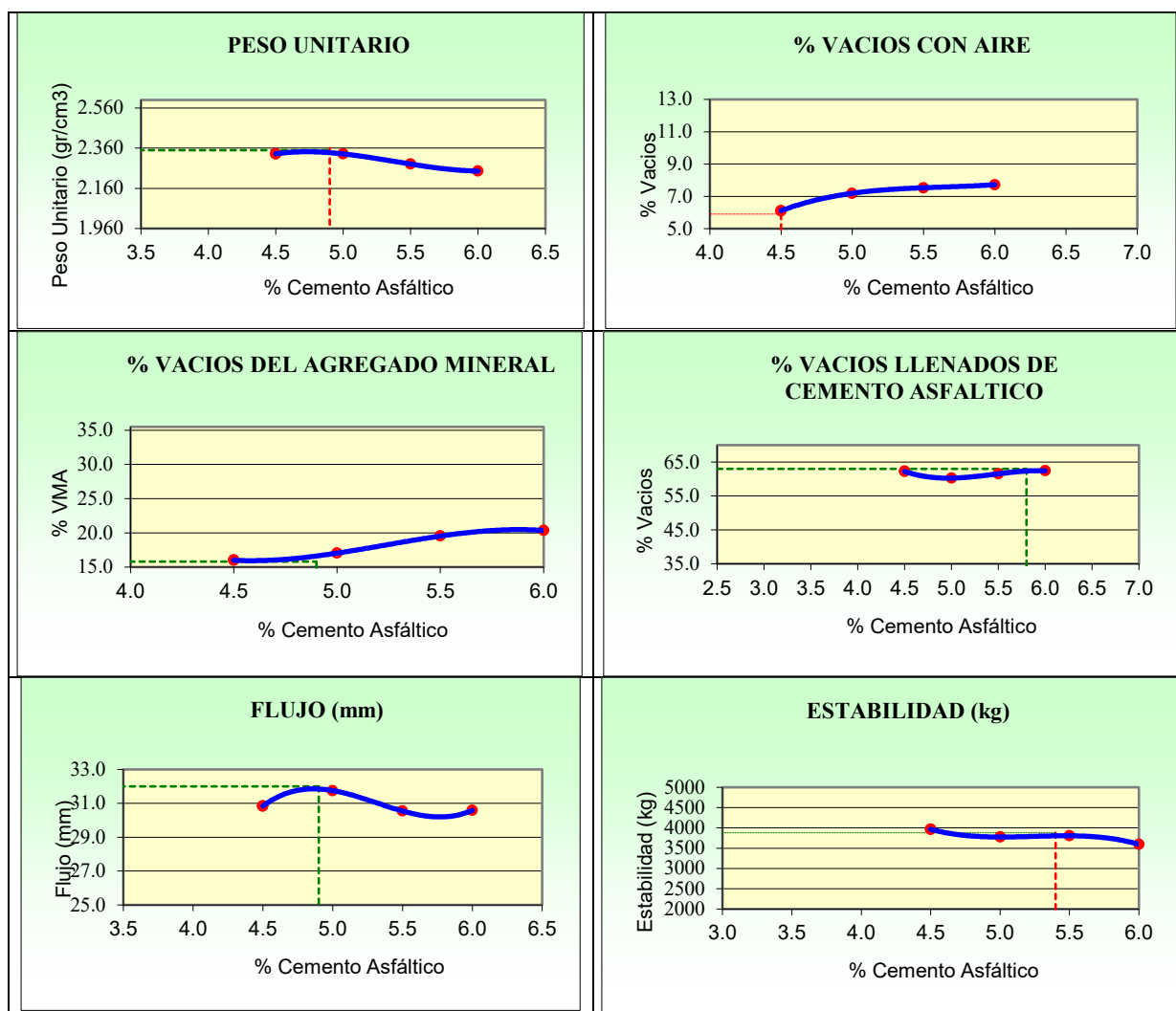
Resultados Propiedades Volumétricas y Mecánicas MAC Convencional:

Tabla 67: Rice MAC Convencional

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	575	575	575	575
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2657	2555	2706	2702
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1584	1516	1656	1679
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	4249.0	4126.0	4246.0	4169.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	2665	2610	2590	2490
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	1073	1039	1050	1023
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.484	2.512	2.467	2.434

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 31: Resultados de Propiedades Volumétricas y Mecánicas – MAC Convencional



Fuente: Elaboración propia

Tabla 68: Resultados con las Propiedades Óptimas de la MAC Convencional

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	4.9
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.350
Vacios (%)	5.90
Vacios del Agregado mineral (%)	15.80
Vacios Llenados de C.A (%)	63.00
Flujo (mm)	8.13
Estabilidad (Kg)	3880
Relación Polvo Asfalto	0.82

Fuente: Elaboración propia

Resulta que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para la muestra patrón es de 4.9% ya que las gráficas anteriores lo indican, especialmente respecto al peso unitario, vacíos de aire y estabilidad Marshall. El pico en el peso unitario es 2.35gr/cm³ para un 4.9% de CA, en vacíos al aire se presenta el mejor valor a 4.5% de CA y en la estabilidad Marshall para 5.4% de CA el máximo valor es 3880kg. El porcentaje óptimo obtenido de la MAC convencional se

comparará con el porcentaje óptimo de la MAC modificada para discernir cual es mejor frente a la susceptibilidad al agua.

Resultados Propiedades Volumétricas y Mecánicas MAC Modificada:

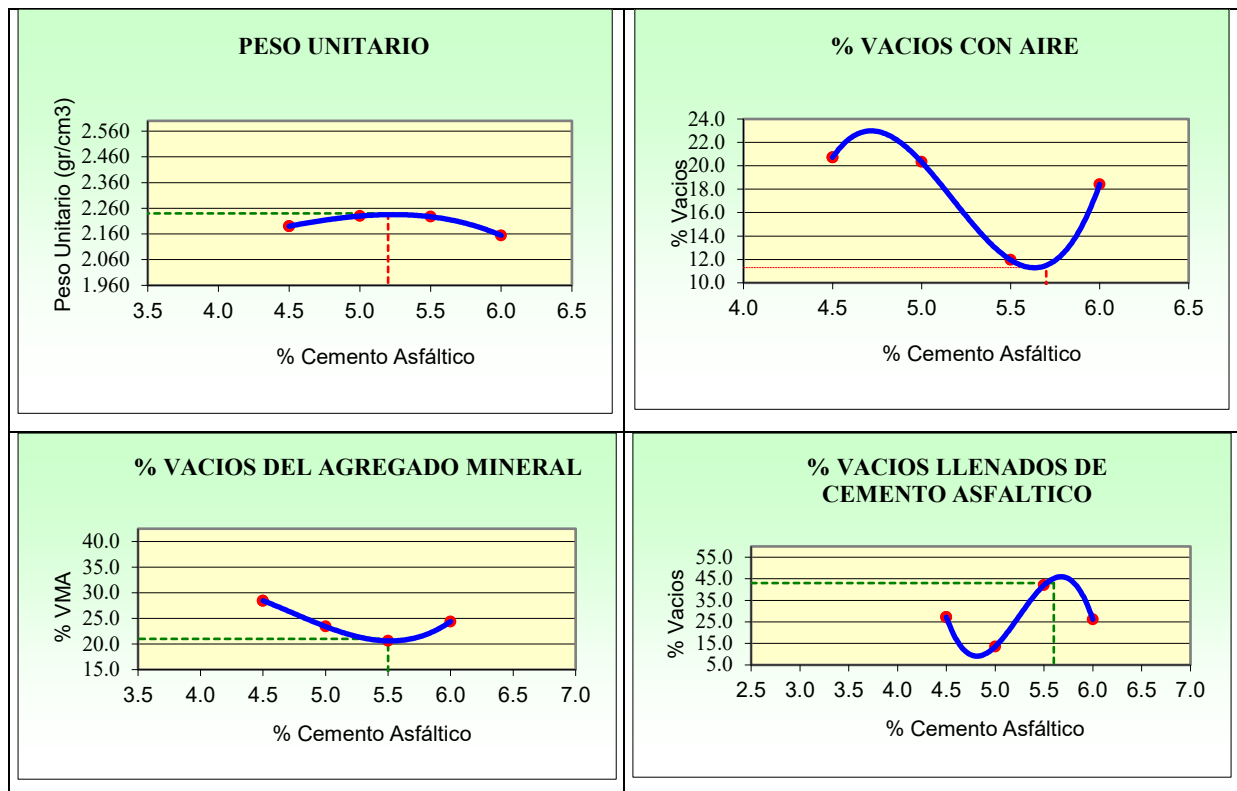
Relación 80% Cal – 20% Polvo Residual

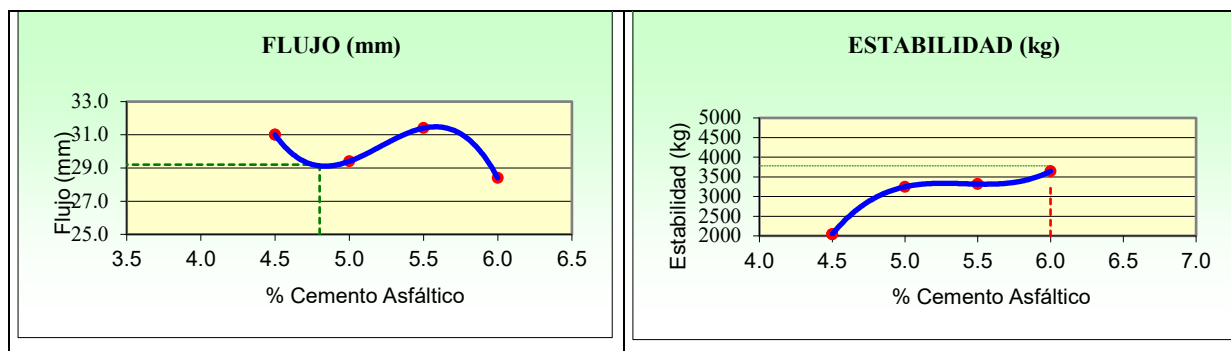
Tabla 69: Rice MAC Modificada_80% Cal – 20% polvo Residual

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2681	2587	2650	2690
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2138	2051	2057	2122
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3638.0	3551.0	3557.0	3622.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	543	536	593	568
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.762	2.799	2.530	2.641

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 32: Resultados Propiedades Volumétricas y Mecánicas – MAC Modificada_80% Cal – 20% Polvo Residual





Fuente: Elaboración propia

Tabla 70: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada _80% Cal – 20% Polvo Residual

RESULTADOS	
Optimo Contenido C.A	5.6
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.240
Vacios (%)	11.30
Vacios del Agregado mineral (%)	21.00
Vacios Llenados de C.A (%)	43.00
Flujo (mm)	7.42
Estabilidad (Kg)	3780
Relación Polvo Asfalto	0.93

Fuente: Elaboración propia

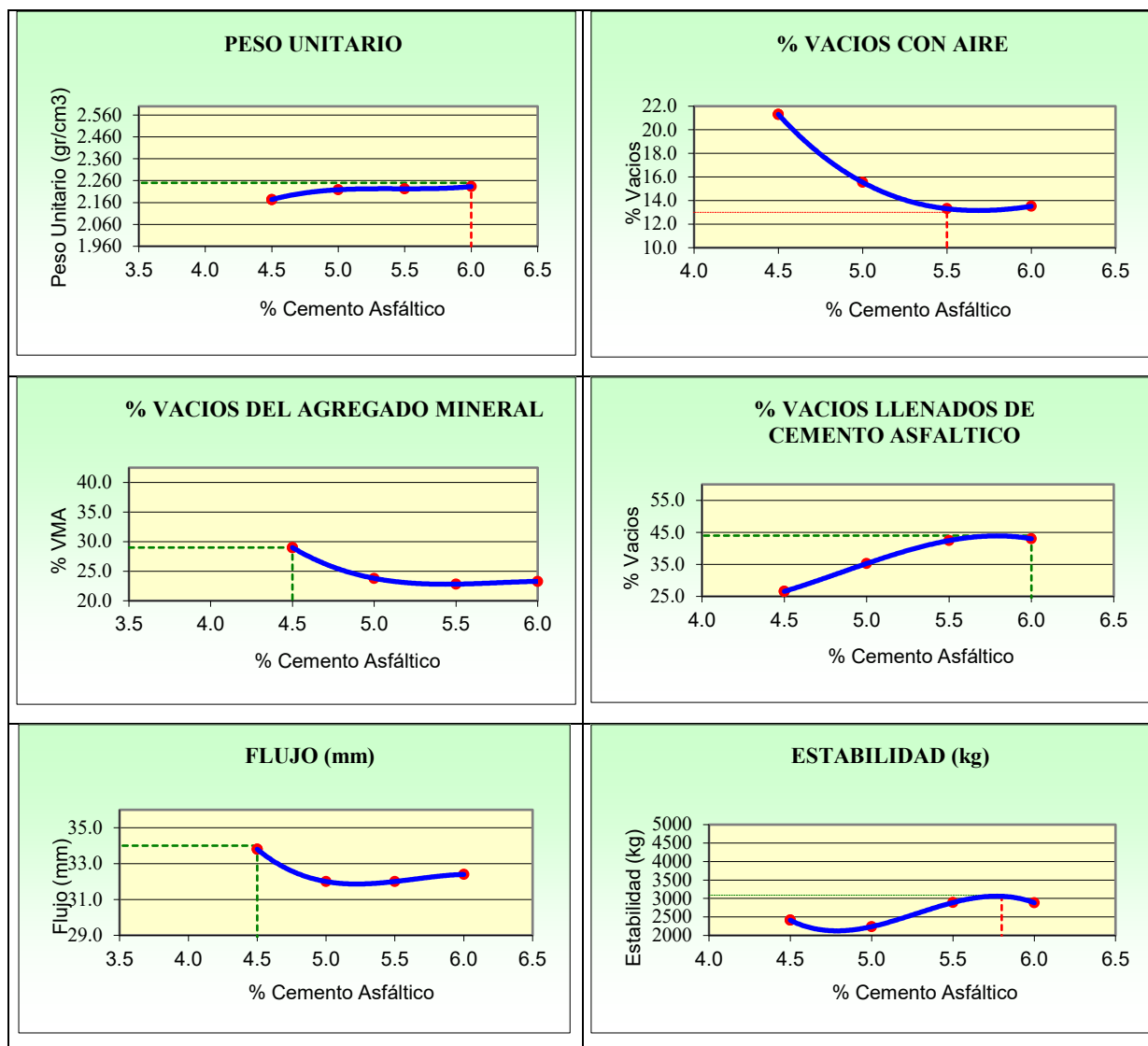
Relación 60% Cal – 40% Polvo Residual

Tabla 71: Rice MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo Residual

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2599	2666	2665	2668
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2056	2095	2080	2087
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3556.0	3595.0	3580.0	3587.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	543	571	585	581
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.762	2.627	2.564	2.582

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 33: Resultados Propiedades Volumétricas y Mecánicas – MAC Modificada_60% Cal – 40% Polvo Residual



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 72: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada_60% Cal – 40% Polvo Residual

RESULTADOS	
Optimo Contenido C.A	5.8
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.250
Vacios (%)	13.00
Vacios del Agregado mineral (%)	29.00
Vacios Llenados de C.A (%)	44.00
Flujo (mm)	8.64
Estabilidad (Kg)	3090
Relación Polvo Asfalto	0.96

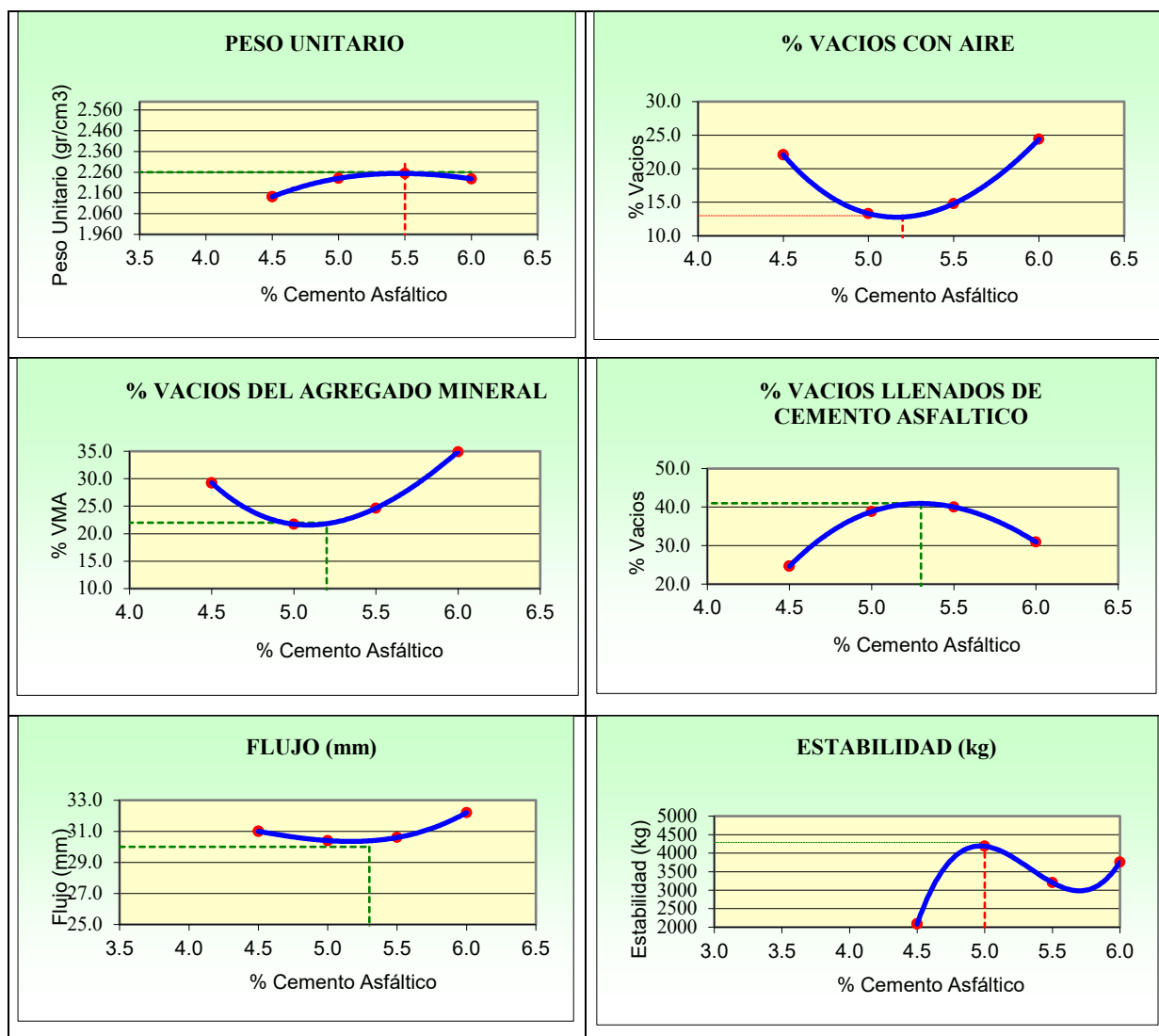
Relación 50% Cal – 50% Polvo Residual

Tabla 73: Rice MAC Modificada_50% Cal – 50% Polvo Residual

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2608	2636	2648	2508
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2062	2053	2081	1999
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3562.0	3553.0	3581.0	3499.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	546	583	567	509
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.747	2.573	2.646	2.947

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 34: Resultados Propiedades Volumétricas y Mecánicas – MAC Modificada_50% Cal – 50% Polvo Residual



Fuente: Elaboración propia

Tabla 74: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada_50% Cal – 50% Polvo Residual

RESULTADOS	
Optimo Contenido C.A	5.2
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.260
Vacios (%)	13.00
Vacios del Agregado mineral (%)	22.00
Vacios Llenados de C.A (%)	41.00
Flujo (mm)	7.62
Estabilidad (Kg)	4290
Relación Polvo Asfalto	0.87

Fuente: Elaboración propia

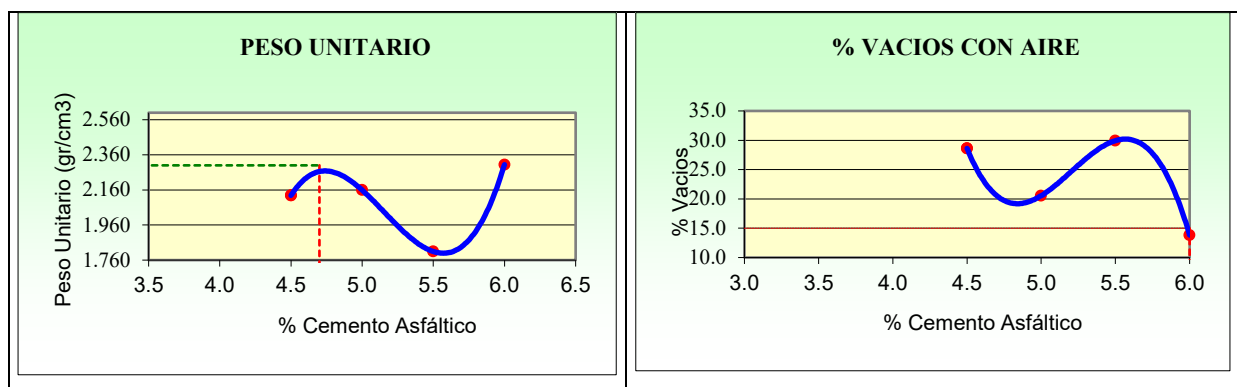
Relación 40% Cal – 60% Polvo Residual

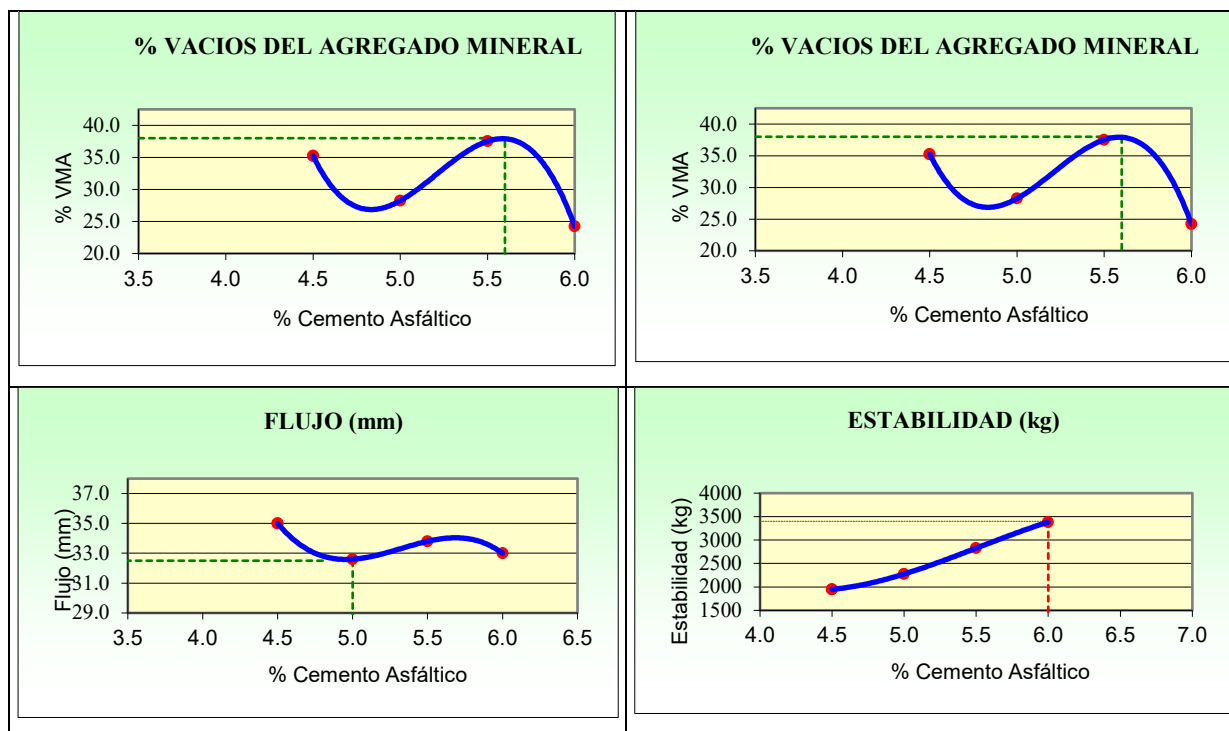
Tabla 75: Rice MAC Modificada_40% Cal – 60% Polvo Residual

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2621	2655	2733	2599
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2118	2103	2152	2038
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3618.0	3603.0	3652.0	3538.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	503	552	581	561
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.982	2.717	2.582	2.674

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 35: Resultados Propiedades Volumétricas y Mecánicas – MAC Modificada_40% Cal – 60% Polvo Residual





Fuente: Elaboración propia

Tabla 76: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada _40% Cal – 60% Polvo Residual

RESULTADOS	
Optimo Contenido C.A	5.6
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.300
Vacios (%)	15.00
Vacios del Agregado mineral (%)	38.00
Vacios Llenados de C.A (%)	47.00
Flujo (mm)	8.26
Estabilidad (Kg)	3400
Relación Polvo Asfalto	0.92

Fuente: Elaboración propia

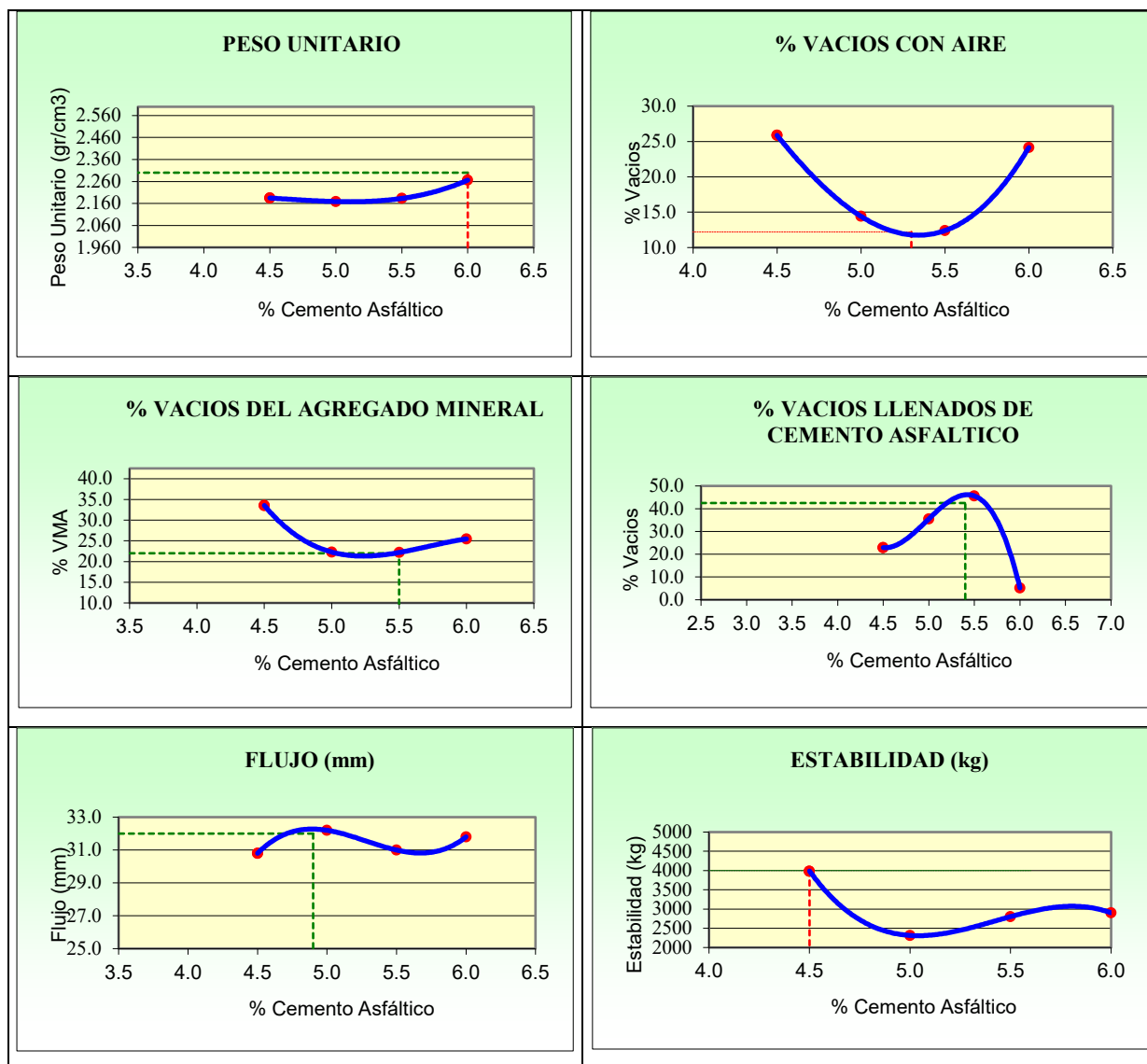
Relación 20% Cal – 80% Polvo Residual

Tabla 77: Rice MAC Modificada _20% Cal – 80% Polvo Residual

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2581	2658	2710	2584
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2072	2066	2108	2082
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3572.0	3566.0	3608.0	3582.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	509	592	602	502
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.947	2.534	2.492	2.988

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 36: Resultados Propiedades Volumétricas y Mecánicas – MAC Modificada_20% Cal – 80% Polvo Residual



Fuente: Elaboración propia

Tabla 78: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada_20% Cal – 80% Polvo Residual

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.3
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.300
Vacios (%)	12.20
Vacios del Agregado mineral (%)	22.00
Vacios Llenados de C.A (%)	42.00
Flujo (mm)	8.13
Estabilidad (Kg)	4000
Relación Polvo Asfalto	0.87

Fuente: Elaboración propia

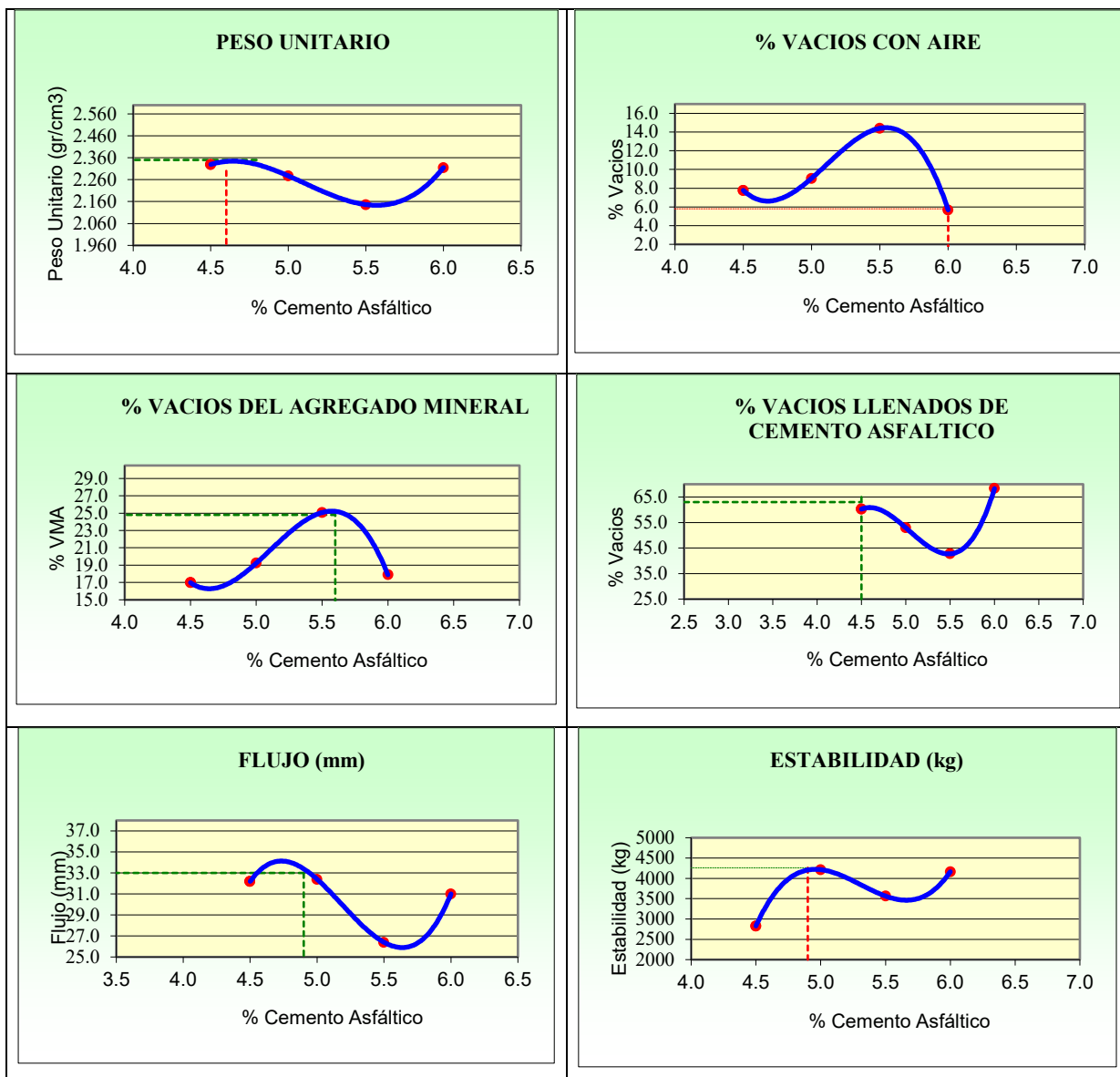
Relación 100% Polvo Residual

Tabla 79: Rice MAC Modificada_100% Polvo Residual

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2645	2625	2635	2640
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2051	2026	2113	2029
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3551.0	3526.0	3422.0	3529.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1309	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	594	599	522	611
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.525	2.504	2.508	2.455

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 37: Resultados Propiedades Volumétricas y Mecánicas – MAC Modificada_100% Polvo Residual



Fuente: Elaboración propia

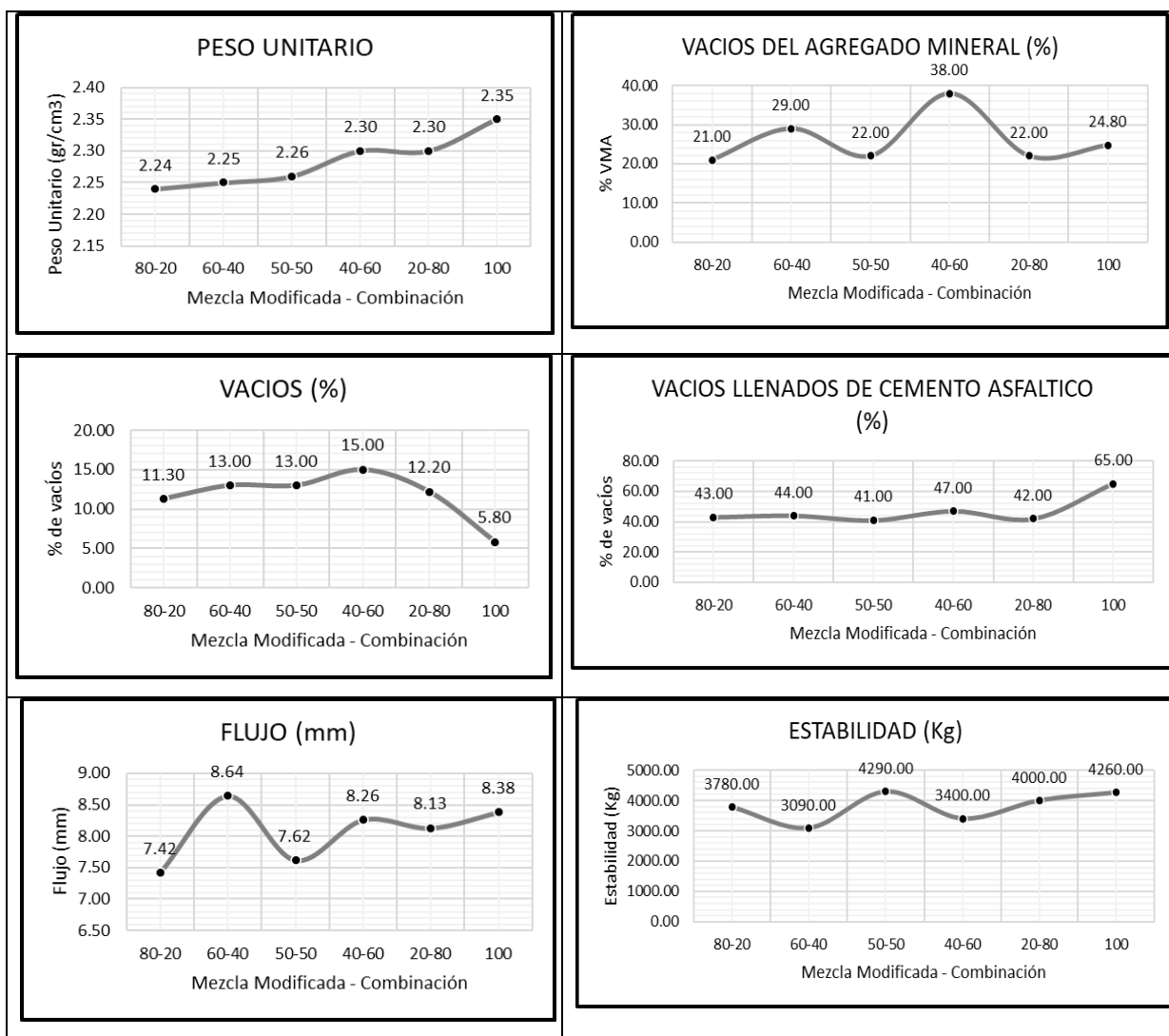
Tabla 80: Resultados Propiedades Óptimas de MAC Modificada_100% Polvo Residual

RESULTADOS	
Optimo Contenido C.A	5.0
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.350
Vacios (%)	5.80
Vacios del Agregado mineral (%)	24.80
Vacios Llenados de C.A (%)	65.00
Flujo (mm)	8.38
Estabilidad (Kg)	4260
Relación Polvo Asfalto	0.84

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los datos expuestos, se sintetizó y analizó la información a través de las siguientes gráficas:

Ilustración 38: Resultados Óptimos de las MAC Modificadas_Relación Cal – Polvo Residual



Fuente: Elaboración propia

Analizando las gráficas con los resultados concatenados, el grupo que mejores propiedades presenta es la MAC modificada con 100% polvo de desecho de piedra chancada. Esta mezcla bituminosa tiene un contenido óptimo de asfalto de 5%.

Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste – MTC E 515

Tabla 81: Resultados Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste – MAC Convencional Óptima

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS BITUMINOSAS							
N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	100% Cal	300	1112.40	1018.9	8.41%	9.56%
2	CONVENCIONAL		300	1188.50	1111.5	6.48%	
3	CONVENCIONAL		300	1110.20	1010.5	8.98%	
4	CONVENCIONAL		300	1105.40	1006	8.99%	
5	CONVENCIONAL		300	1081.30	919.8	14.94%	

Fuente: Elaboración propia

El ensayo Cántabro determinó que la pérdida por desgaste promedio es de 9.56% para la MAC convencional óptima. El requerimiento normativo indica que no debe exceder el 25%. Asimismo, al tomar en cuenta el valor de cada briqueta, el mayor valor de desgaste es del 14.94% y el menor un 6.48%.

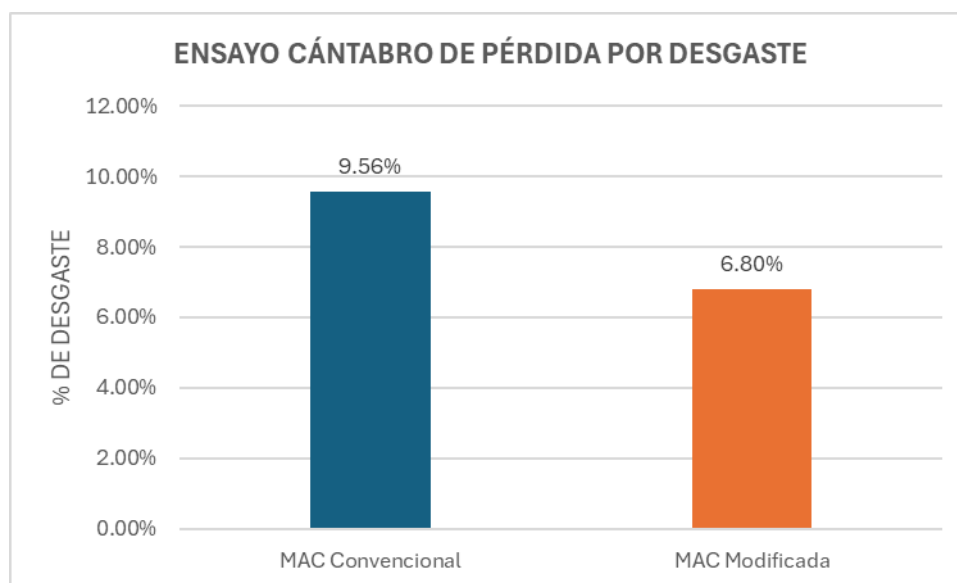
Tabla 82: Resultados Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste – MAC Modificada Óptima

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS BITUMINOSAS							
N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	ADICIÓN	100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada	300	1182.20	1094.1	7.45%	6.80%
2	ADICIÓN		300	1212.70	1146	5.50%	
3	ADICIÓN		300	1166.40	1076.3	7.72%	
4	ADICIÓN		300	834.40	782.9	6.17%	
5	ADICIÓN		300	1170.10	1086.3	7.16%	

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, para la MAC modificada óptima el ensayo Cántabro determinó que la pérdida por desgaste promedio es de 6.80%. El requerimiento normativo indica que no debe exceder el 25%. Asimismo, al tomar en cuenta el valor de cada briqueta, el mayor valor de desgaste es del 7.72% y el menor un 5.50%.

Ilustración 39: Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste – Comparación % Desgaste_MAC Óptimas



Fuente: Elaboración propia

Al comparar los resultados de las MAC Óptimas se observa que la MAC Modificada Óptima tiene un porcentaje de desgaste menor a la MAC Convencional Óptima, esto se manifiesta en un 2.76% menos.

Test de Lottman Modificado – AASHTO T 283 / MTC E 522

Tabla 83: Resultados Test de Lottman Modificado – MAC Convencional Óptima

MAC Convencional Óptima										
Muestras	Acondicionadas					Secas				
Briqueta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga Máxima (N)	3041.10	2746.80	2697.75	2550.60	3031.29	3551.22	3188.25	3776.85	3296.16	3482.55
Esfuerzo a la Tensión (Kpa)	3.18	2.55	2.57	2.43	2.89	3.28	3.33	3.61	3.12	3.48
Promedio (Kpa)	2.72					3.36				
TSR	81.01%									

Fuente: Elaboración propia

El Test de Lottman Modificado indicó una ratio del esfuerzo a tensión de 81.01% luego de ser sometidas las briquetas a una saturación y acondicionamiento de congelamiento y deshielo, oscilando dentro del parámetro normativo del 80% que demuestra el buen desempeño a los daños por humedad según las referencias afines (EG – 2013).

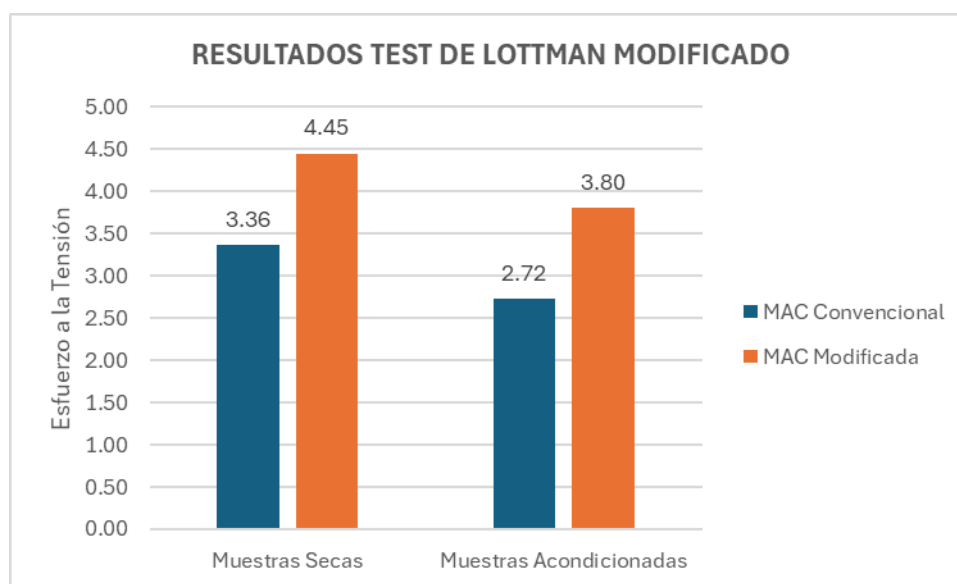
Tabla 84: Resultados Test de Lottman Modificado – MAC Modificada Óptima

MAC Modificada Óptima										
Muestras	Acondicionadas					Secas				
Briqueta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga Máxima (N)	4022.10	4071.15	3041.10	4414.50	4267.35	4561.65	4532.22	3629.70	5052.15	5248.35
Esfuerzo a la Tensión (Kpa)	4.04	3.88	2.92	4.15	4.02	4.45	4.32	3.67	4.83	4.98
Promedio (Kpa)	3.80					4.45				
TSR	85.40%									

Fuente: Elaboración propia

El Test de Lottman Modificado para la MAC Modificada Óptima indicó una ratio del esfuerzo a tensión de 85.40% luego de ser sometidas las briquetas a una saturación y acondicionamiento de congelamiento y deshielo, oscilando dentro del parámetro normativo del 80% que demuestra el buen desempeño a los daños por humedad según las referencias afines (EG – 2013).

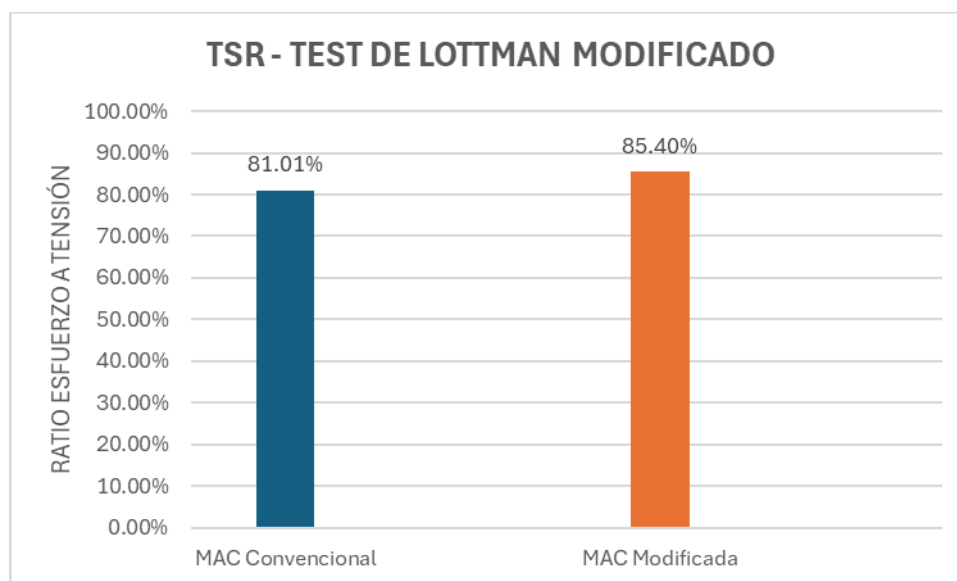
Ilustración 40: Test de Lottman Modificado – Comparación Esfuerzo a Tensión_MAC Óptimas



Fuente: Elaboración propia

En la comparación de las MAC Óptimas en el esfuerzo a la tensión diametral resulta que la MAC Modificada Óptima resiste un mayor esfuerzo respecto a la MAC Convencional Óptima tanto en condiciones secas como en las acondicionadas.

Ilustración 41: Test de Lottman Modificado – Comparación TSR_MAC Óptimas



Fuente: Elaboración propia

Respecto al TSR del Test de Lottman Modificado, resulta que la MAC Modificada Óptima tiene una relación entre acondicionamiento y estado seco en su esfuerzo a tensión de sus muestras (85.40%) mayor que la MAC Convencional Óptima (81.01%).

Análisis Económico

El cálculo se realizó por m³ de mezcla asfáltica y m² para de pavimento. Considerando los aportes de materiales que requiere elaborar cada mezcla y el espesor de la carpeta asfáltica.

MAC Convencional

Tabla 85: Aporte por m³ para Preparación de MAC Convencional

APORTE POR M3 - MAC CONVENCIONAL				
Material	Cantidad en Mezcla (%)	Cantidad en kg/m³	Volumen por m³ de MAC	Cantidades para un m³ de MAC
Asfalto PEN 60/70	4.90	115.15	0.11	29.74 gal
Agregado Grueso	46.60	1095.0765	0.73	0.73 m ³
Agregado Fino	47.55	1117.425	0.72	0.72 m ³
Cal Hades (Bolsa 20kg)	0.95	22.3485	0.01	1.12 bls
TOTAL	100	2350	1.57	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86: Costo por m³ para Preparación de MAC Convencional

PRECIO MAC CONVENCIONAL			Costo por m³:	S/. 503.92
Material	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Asfalto PEN 60/70	gal	29.74	13.10	389.58
Agregado Grueso	m ³	0.73	75.00	54.55
Agregado Fino	m ³	0.72	55.00	39.79
Cal Hades (Bolsa 20kg)	bls	1.12	17.90	20.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87: Análisis de Precios Unitarios - MAC Convencional

Partida	423.A1	CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 234.0000	EQ. 234.0000	Costo unitario directo por: m3			699.51
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1	0.0342	26.73	0.91	
0101010005	PEÓN	hh	6	0.2051	19.04	3.91	
0101010005	BONIFICACIÓN POR TRABAJOS A ALTAS TEMPERATURAS	hh	8	0.2735	0.44	0.12	
0101010005	CAPATAZ "A"	hh	1	0.0342	34.75	1.19	
						6.13	
Materiales							
0201040001	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL	m3		1.3000	503.92	655.10	
						655.10	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	6.13	0.31	
0301010006	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO 135HP 9.26ton	hm	1	0.0342	180.71	6.18	
0301010006	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 130HP 11.9ton	hm	1	0.0342	247.23	8.45	
030116000	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105 HP 10-16	hm	1	0.0342	179.11	6.12	
03013900	VEHICULO DE TRANSFERENCIA DE 35 38 Ton	hm	1	0.0342	503.87	17.23	
						38.29	

Fuente: Elaboración propia

MAC Modificada

Tabla 88: Aporte por m3 para Preparación de MAC Modificada

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA				
Material	Cantidad en Mezcla (%)	Cantidad en kg/m3	Volumen por m3 de MAC	Cantidades para un m3 de MAC
Asfalto PEN 60/70	5.00	117.5	0.11	30.35 gal
Agregado Grueso	46.55	1093.925	0.73	0.73 m3
Agregado Fino	47.50	1116.25	0.72	0.72 m3
Polvo de Piedra Chancada	0.95	22.325	0.01	22.33 kg
TOTAL	100	2350	1.57	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89. Costo por m3 para Preparación de MAC Modificada

PRECIO MAC MODIFICADA			Costo por m3:	S/. 502.93
Material	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Asfalto PEN 60/70	gal	30.35	13.10	397.53
Agregado Grueso	m3	0.73	75.00	54.50
Agregado Fino	m3	0.72	55.00	39.75
Polvo de Piedra Chancada	kg	22.33	0.50	11.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90: Análisis de Precios Unitarios – MAC Modificada

Partida	423.A1	CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE		Costo unitario directo por: m3				698.23
Rendimiento	m3/DIA	MO. 234.0000	EQ. 234.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
Mano de Obra								
0147010002	OPERARIO	hh	1	0.0342	26.73	0.91		
0147010004	PEÓN	hh	6	0.2051	19.04	3.91		
0147010127	BONIFICACIÓN POR TRABAJOS A ALTAS TEMPERATURAS	hh	8	0.2735	0.44	0.12		
0147010128	CAPATAZ "A"	hh	1	0.0342	34.75	1.19		
Materiales								
0201040001	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA	m3		1.3000	502.93	653.81		
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	6.13	0.31		
910314030307	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO 135HP 9.26ton	hm	1	0.0342	180.71	6.18		
910314030309	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 130HP 11.9ton	hm	1	0.0342	247.23	8.45		
910314030702	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105 HP 10-16	hm	1	0.0342	179.11	6.12		
910314030708	VEHICULO DE TRANSFERENCIA DE 35 38 Ton	hm	1	0.0342	503.87	17.23		
38.29								

Fuente: Elaboración propia

El costo por metro cúbico en la elaboración de los concretos asfálticos se manifiesta en una diferencia de S/. 1.28 a favor de la MAC modificada con polvo de desecho de piedra chancada, considerando un 30% de desperdicio en el APU.

Presupuesto por m2 de Carpeta Asfáltica

Considerando un espesor de 9cm según [11][25], el presupuesto por m2 sería:

Tabla 91: Presupuesto por m2 de Mezcla Asfáltica

PRESUPUESTO DE MEZCLA ASFÁLTICA				
MAC	Unidad	Precio por m3	Espesor Carpeta	Precio (S/./m2)
Convencional	m2	699.51	0.09	62.96
Modificada	m2	698.23	0.09	62.84

Fuente: Elaboración propia

El costo por metro cuadrado de los respectivos concretos asfálticos se manifiesta en una diferencia de S/. 0.12 a favor de la MAC modificada con polvo de desecho de piedra chancada en el filler.

Discusiones

1. Según el primer objetivo específico es caracterizar el polvo de desecho de piedra chancada y agregados, cuyos resultados indicados en la tabla 62 muestran que la composición predominante del polvo de desecho de piedra chancada es calcio (45.36%) y silicio (33.18%). Comparando con lo determinado por Salgado [3] en su investigación, la composición de polvo de piedra caliza utilizada es conformada por calcita (90%), dolomita (6%) y cuarzo (4%). Entonces, se afirma que el carbonato de calcio y la sílice conforman gran parte del polvo de piedra triturada como se menciona en el marco teórico y a su vez, cumpliendo también con las especificaciones que exige el Método Marshall al tener un tamaño de $75\mu\text{m}$ para ser usado como polvo mineral. Asimismo, los resultados de la caracterización de los agregados tanto grueso (Tabla 63) como fino (Tabla 64) son aceptables ya que cumplen con el requerimiento estipulado por el Manual de Carreteras para ser usados en una MAC.
2. En el segundo objetivo es determinar el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica convencional PEN 60/70 para tránsito pesado, los resultados indican que el contenido de asfalto óptimo es 4.9% con el filler convencional que es la cal hidratada (1%). Con relación a ello, en la investigación de Valera [8], el ligante óptimo le resultó 5.7% para un filler de cal hidratada (2%); mientras que, en la investigación de Ojeda y Zeta [22], en su muestra patrón su porcentaje óptimo de asfalto PEN 60/70 resultó 5.9% sin ningún tipo de filler. Estos resultados hacen ver que el filler puede mejorar el cerrado de la mezcla sin el empleo exagerado de asfalto [23] ya que; el elevado contenido de este que se muestra en el segundo antecedente se da debido a la cantidad de espacios libres que se ha de llenar al no contar con un polvo mineral. Respecto al otro, la cantidad del ligante se eleva un poco a causa de la superficie de los áridos que ha de envolver.
3. El tercer objetivo es determinar el porcentaje óptimo de desecho de polvo de piedra chancada como filler de la mezcla asfáltica PEN 60/70 para tránsito pesado, el experimento que mejores resultados mostró fue el reemplazo del 100% de polvo de desecho de piedra chancada en el filler de la MAC presentando un óptimo de asfalto del 5%. Este último no varió significativamente con relación a la mezcla patrón debido a las propiedades similares que presenta el filler empleado respecto a la cal hidratada, y es que, los dos tipos de polvo mineral derivan de la misma materia base que es el carbonato de calcio.

4. El cuarto objetivo es ensayar las mezclas asfálticas patrón y modificada óptimas por el Test de Lottman Modificado para determinar la susceptibilidad al daño por humedad, los resultados mostraron que en la MAC patrón el TSR fue de 81.01% y en la MAC Modificada de 85.40%, cumpliendo con las especificaciones de [6] que representan un buen desempeño frente al agua. Asimismo, en la investigación de Santamaría [4] le resultó que sus muestras experimentales con adición de valva de concha de abanico desempeñan una mejor resistencia a la humedad respecto a su muestra patrón. Entonces, se confirma que la MAC modificada desempeña un mejor rendimiento frente al agua debido a la reacción química ácido – base entre el asfalto y el polvo residual, compartiendo electrones que provocan un enlace químico estable. La interacción de estos crea fuerzas de atracción muy fuertes ya que el filler experimental tiende a perder electrones por su naturaleza electropositiva para que ligante tienda a recibirlos por su carácter electronegativo, ocasionando una resistencia al desprendimiento a causa del agua. Además, influye la energía superficial del polvo mineral en cuestión debido a su capacidad de ser recubiertos por el asfalto [4]. Por último, se afirma la hipótesis planteada de que la adición de polvo de desecho de piedra chancada en el filler de una mezcla asfáltica PEN 60/70 cambia positivamente su susceptibilidad a la humedad.
5. El quinto objetivo es ensayar las mezclas asfálticas patrón y modificada óptimas en el ensayo Cántabro para determinar el desgaste, los resultados muestran un 9.56% para la MAC Convencional y 6.80% para la MAC Modificada con relación al desgaste. Así también, lo encontrado por Valera [8] en su investigación, con la adición de polvo de ladrillo como filler a la mezcla bituminosa le resultó un 3.47% de desgaste y en el patrón 2.30% para un filler de cal hidratada. Con estos resultados se infiere que el mástico (sistema filler – betún) es importante ante los efectos abrasivos que provoca el tráfico y las condiciones a la que se expongan los pavimentos, otorgando cohesión, adhesividad y proveyendo una lámina de mayor espesor alrededor de los áridos en comparación si solo hubiese asfalto solo [2].
6. El penúltimo objetivo es comparar los resultados de daño por humedad y desgaste obtenidos de las mezclas asfálticas patrón y modificada. En cuanto a la susceptibilidad al agua, la MAC modificada resulta con un mejor comportamiento respecto a la convencional debido a una diferencia de 4.39% en el TSR. Tomando en cuenta las teorías de [18][4] se interpreta la mejora debido al porcentaje de vacíos de aire ya que, hay una menoría de una respecto a la otra, por ende, la permeabilidad ha disminuido y

así el agua no podrá introducirse tan fácilmente, evitando el desprendimiento y logrando una mezcla será más durable. En cuanto al desgaste, resultó una disminución favorable a la MAC propuesta gracias a la buena resistencia frente a la abrasión.

7. El último objetivo es evaluar económicamente la realización de las mezclas asfálticas convencional y modificada y comparar el costo – beneficio entre las dos, se obtuvo que el costo para elaborar un metro cúbico de la MAC convencional es S/. 699.51 y S/. 698.23 para la MAC modificada. Con relación a ello, a Valera [8] en su investigación le resultó S/.440.68 la MAC convencional y S/. 778.91 en la MAC modificada al adicionar polvo de ladrillo en el filler, se interpreta que el precio por m³ se elevó debido al proceso de trituración del ladrillo. En cuanto a la presente investigación, se obtuvo reducciones de S/. 1.28/m³ y S/. 0.12/m² para elaborar y pavimentar con concreto asfáltico modificando el filler con polvo de desecho de piedra chancada, respectivamente. En las pavimentaciones de carreteras a gran escala el ahorro se puede evidenciar significativamente por el número de kilómetros que se requieren. A todo ello, las razones que justifican la ventaja económica radican en la obtención del polvo residual, el ahorro de procesos y coste cero.

Conclusiones

Se concluye que el polvo de desecho de piedra chancada tiene una composición predominante de calcio y silicio, similar a lo encontrado en estudios anteriores. Esta composición cumple con las especificaciones del Método Marshall y las normativas para su uso en mezclas asfálticas calientes, al igual que los agregados gruesos y finos utilizados, que resultaron ser adecuados para el uso en pavimentos.

El contenido óptimo de asfalto para la MAC convencional fue del 4.9%, lo cual es menor que en investigaciones previas debido a la inclusión del filler, que mejora el sellado de la mezcla, evitando el uso excesivo de asfalto. Esto demuestra que el filler puede influir en la cantidad de ligante requerido en la mezcla.

Al sustituir el 100% del filler con polvo de desecho de piedra chancada, se obtuvo un contenido óptimo de asfalto de 5%, similar al de la MAC convencional. Esto se debe a las propiedades similares entre el filler experimental y la cal hidratada, ya que ambos derivan del carbonato de calcio.

La MAC modificada mostró una mejor resistencia al daño por humedad que la MAC patrón, con un TSR de 85.40% frente a 81.01%. Esta mejora puede atribuirse a la reacción ácido-base entre el polvo residual y el asfalto, que crea enlaces químicos más fuertes, además de la menor permeabilidad en la mezcla modificada.

En el ensayo Cántabro, la mezcla modificada demostró una mayor resistencia al desgaste (6.80%) en comparación con la mezcla convencional (9.56%). Esto sugiere que el mástico juega un papel importante en la protección contra la abrasión provocada por el tráfico, proporcionando mayor cohesión y resistencia.

Comparando la susceptibilidad al agua y el desgaste, la mezcla modificada presentó un comportamiento superior, con menor permeabilidad y una mejor resistencia a la abrasión. Esto demuestra que la adición de polvo de desecho de piedra chancada mejora tanto la durabilidad como la resistencia de la mezcla asfáltica.

La mezcla asfáltica modificada resultó ser más económica que la mezcla convencional, con un ahorro de S/. 1.28/m³ en su producción. Este ahorro se debe a la utilización de polvo de desecho de piedra chancada, lo cual reduce los costos asociados al filler. A gran escala, este ahorro puede ser significativo en proyectos de pavimentación.

Recomendaciones

Se recomienda incentivar el empleo del polvo de desecho de piedra chancada como alternativa al filler convencional, ya que demostró resultados satisfactorios en términos de resistencia al desgaste y durabilidad frente a la humedad, además de ofrecer ventajas económicas significativas.

Para continuar optimizando el rendimiento de las mezclas asfálticas y reducir costos, es recomendable explorar otros tipos de fillers reciclados o derivados de materiales de desecho que puedan contribuir de manera similar a la mejora de las propiedades mecánicas de los pavimentos.

Con relación al Test de Lottman Modificado, por experimentación propia, se recomienda una vez terminado el acondicionamiento de congelamiento, dejar reposar durante 2 horas a temperatura ambiente previo a realizar el baño María a 60°C para que en el ensayo de tracción indirecta no afecte su resistencia.

Dado que los ensayos en laboratorio han demostrado mejoras significativas con la mezcla modificada, se recomienda implementar pruebas a escala real y a largo plazo para evaluar el comportamiento de estas mezclas en diferentes condiciones climáticas y de tráfico siempre y cuando la viabilidad con la que cuente el investigar sea acorde a su presupuesto.

Debido a las ventajas económicas que presenta el uso de fillers alternativos como el polvo de piedra chancada, se aconseja que los profesionales del sector consideren este tipo de análisis en la etapa de planificación de proyectos viales, buscando maximizar la eficiencia de los recursos y reducir los costos sin comprometer la calidad.

A medida que más investigaciones respalden el uso de fillers derivados de materiales de desecho, sería útil que las normativas nacionales incluyan más a fondo este tipo de alternativas como opción viable para mejorar la durabilidad y sostenibilidad en la construcción de carreteras.

Referencias

- [1] The Asphalt Institute, «AI MSI-1: Thickness Design--Full Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets», 1970.
- [2] H. Bianchetto, R. Miró Recasens y F. Pérez Jiménez, “Resistencia Al Envejecimiento De Las Mezclas Bituminosas En Caliente: Beneficios Y Limitaciones De La Incorporación De Fílleres Comerciales. Primera Parte: Estudios En Base Al Metodo Ucl.”, Univ. Nac. Plata, Univ. Politec. Cataluna, vol. 9, n.º 17, 2012.
- [3] B. Salgado Barra y L. Momm, “Evaluación De Características Físicas Y Químicas De Los Rellenos Minerales De Piedra Caliza Y Polvo De Piedra En La Formulación De Los Morteros Asfálticos”, Univ. Fed. St. Catarina, vol. 11, n.º 22, 2012.
- [4] S. E. Santamaría Chipana, “Durabilidad De Las Mezclas Asfálticas En Caliente Con Valvas De Concha De Abanico”, Trabajo de Grado, Univ. Piura, Piura, 2020.
- [5] F. Y. Ruiz Burga, “Evaluación De La Incorporación De Polvo De Piedra Chancada En La Subrasante Deteriorada Por Deformación, Carretera Chota – Shitacucho”, Trabajo de Grado, Univ. Nac. Auton. Chota, Chota, 2022.
- [6] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción (EG-2013), vol. Tomo I. 2013.
- [7] G. A. Benites Villanueva, “Adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar en susceptibilidad al agua de mezcla asfáltica en caliente trujillo 2023”, Trabajo de Grado, Univ. Nac. Trujillo, Trujillo, 2024.
- [8] F. L. Valera Nuñez, “Evaluación Del Efecto De La Cal Hidratada Y El Polvo De Ladrillo Utilizado Como Relleno Mineral En Las Propiedades De Una Mezcla Asfáltica”, Trabajo de Grado, Univ. Catol. St. Toribio Mogrovejo, Chiclayo, 2018.
- [9] J. R. Menéndez Acurio, Ingeniería de Pavimentos, 5ta Edición. Instituto de la Construcción y Gerencia, 2016.
- [10] A. Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras, 2a ed. Santafé de Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 1998.
- [11] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual De Carreteras - Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección Suelos Y Pavimentos. 2014.
- [12] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales. 2016.
- [13] The Asphalt Institute, Manual Del Asfalto. 1962.
- [14] R. Hernández Sampieri y C. Fernández Collado, Metodología de la investigación, Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill Education, 2014.

[15] M. Borja Suárez, Metodología para la Investigación Científica para Ingenieros. Chiclayo, 2016.

[16] L. R. Vásquez Varela, PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS. Manizales, Colombia, 2002.

[17] Universidad Mayor de San Simón, Pavimentos. Bolivia, 2004.

[18] Instituto Del Asfalto, Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. en MS, no. 22. 1982.

[19] A. S. Tolosa Torres. “Las fuertes lluvias sumadas a un drenaje deficiente, son causantes de la proliferación de baches”. Universidad Autónoma de Sinaloa. [En línea]. Disponible: <https://dcs.uas.edu.mx/noticias/5224/las-fuertes-lluvias-sumadas-a-un-drenaje-deficiente-son-causantes-de-la-proliferacion-de-baches#:~:text=El%20fuerte%20flujo%20del%20agua,distintas%20calles%20de%20la%20ciudad>

[20] J. D. Leongómez, “Análisis de poder estadístico y cálculo de tamaño de muestra en R: Guía práctica”, Investig. Abierta, p. 35, 2020.

[21] Standard Guide for Elemental Analysis by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry, ASTM E 1621 - 22, American Society for Testing and Materials, Estados Unidos, 2022.

[22] R. D. A. Ojeda Sandoval, Zeta Alama, “Determinación del comportamiento de pavimentos flexibles incorporando cal hidratada en un diseño de mezcla asfáltica en la Provincia de Sullana”, Trabajo de Grado, Univ. Cesar Vallejo, Piura, 2023.

[23] R. E. Aduato Orellana, “Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maíz”, Tesis de Maestría, Univ. Ricardo Palma, Lima, 2019.

[24] C. F. C. A. Ponce Subia, Villa Calvet, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL, EMPLEANDO LOS AGREGADOS DE LA CANTERA: LA PODEROSA DE LA PROVINCIA DE AREQUIPA, AREQUIPA – PERÚ”, Trabajo de Grado, Univ. Catol. St. Maria, Arequipa, 2020.

[25] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA

EMP. PE – 18A (PTE. RANCHO) – CHAGLLA – RUMICHACA”, expediente técnico, informe N°08, Lima, MTC, 2023.

[26] Petroperú. “Lista de precios”. [En línea]. Disponible: <https://asfaltos.petroperu.com.pe/precios.php>

Anexos

Anexo 1: Validación de Ensayos de Laboratorio



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS

INFORME N° LEM USAT 010-2024-II

FECHA: 21 de octubre, 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Eric Anderson Quispe Delgado

TITULO DE LA TESIS: Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Abrasión Los Ángeles al Desgaste de los Agregados
- Durabilidad al Sulfato de Magnesio del Agregado Grueso y Fino
- Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso y Fino
- Azul de Metileno
- Índice de Plasticidad Malla N°200 y N°40
- Equivalente de Arena
- Sales Solubles en Agregados
- Caras Fracturadas en el Agregado Grueso
- Partículas Chatas y Alargadas
- Análisis Granulométrico en Agregados Gruesos y Finos
- Ensayo Marshall
- Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste
- Test de Lottman Modificado
- Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil

Anexo 2: Informe de Laboratorio Ensayo Abrasión Los Ángeles al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5mm (1 1/2'')



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de Ensayo : 05 de abril del 2024

ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2'') POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

REFERENCIA : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

Cantera : Cantera Tres Tomas
Muestra : Agregado grueso

% de desgaste por abrasión	%	10.2
% de uniformidad	%	0.6

Requerimiento: 40 % Máximo

OBSERVACIONES :

- Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500


Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT




LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TECNICO DE LABORATORIO



Anexo 3: Informe de Laboratorio Ensayo Durabilidad al Sulfato de Sodio y al Sulfato de Magnesio – Agregado Grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de Ensayo : 03 de Mayo del 2024

Ensayo : Durabilidad al Sulfato de Sodio y al Sulfato de Magnesio

Referencia : Norma MTC E 209 / N.T.P. 400.016 / ASTM C-88

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Tres Tomas
Muestra : Piedra chancada

I .- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida Pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	-
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	-
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	1.6
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	1.6
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	Nº 4	0.7
9.5 mm	4.75 mm	

II .- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	3.9
----------------	-----	-----

OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.


Henry Rivadeneira Obilias
Tec. Laboratorio USAT



Anexo 4: Informe de Laboratorio Ensayo Durabilidad al Sulfato de Sodio y al Sulfato de Magnesio – Agregado Fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesista : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : 10 de Mayo del 2024.

Ensayo : Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio

Referencia : Norma MTC E 209 / N.T.P. 400.016 / ASTM C-88

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : La Victoria - Pátapo

Muestra : Arena Amarilla

I .- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida Pesado
Pasa	Retiene	
3/8"	Nº 4	3.9
9.5 mm	4.75 mm	
Nº 4	Nº 8	1.3
4.75 mm	2.36 mm	
Nº 8	Nº 16	1.3
2.36 mm	1.18 mm	
Nº 16	Nº 30	4.1
1.18 mm	600 µm	
Nº 30	Nº 50	3.9
600 µm	300 µm	
Nº 50	Nº 100	5.3
300 µm	150 µm	



II .- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	19.7
----------------	-----	------

OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.

Henry Riuadenebra Obittas
Tec. Laboratorio USAT


Anexo 5: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos y Gruesos



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de Emisión : 30 de abril del 2024

Ensayo : Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos
Referencia : Norma MTC E 205 / ASTM C-128 / N.T.P. 400.022

Cantera : La Victoria - Pátapo

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	947.3	947.3
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	643.19	643.19
3.- Peso del Agua	(g)	304.12	304.12
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	641.33	641.33
5.- Peso del Frasco	(g)	143.19	143.19
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	498	498
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.543
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.553
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.567
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.37

Ensayo : Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso
Referencia : Norma MTC E 206 / ASTM C-127 / N.T.P. 400.021

Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	1941	1941
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	1951	1951
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso de canastilla	(g)	2111	2111
4.- Peso de la canastilla	(g)	896	896
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1215	1215

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.637
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.651
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.674
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.53

Henry Rivañeyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT Universidad Católica



Anexo 6: Informe de Laboratorio Ensayo Azul de Metileno



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de Emisión : 02 de mayo del 2024

AZUL DE METILENO
 (NORMA: AASHTO TP 57)
 Muestra M-01

REFERENCIA DE LA MUESTRA
 Cantera : La Victoria - Pátapo
 Aplicación : Asfalto

Fecha de Ensayo: jueves, 2 de Mayo de 2024

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución	Peso del Material Fino (N° 200)	Resultado	Especificación EG-215	
	Cada	NÚMERO			Mín.	Máx.
AGREGADO FINO - pass malla N° 200	Cada 0.5 ml	10.0	5.0	2	-	8
		10.0	5.0	2		

RESULTADOS PROMEDIOS : 2

FORMULA DE APLICACIÓN
 $AM = \frac{C_{sol}}{P_{ftnos}}$

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 7: Informe de Laboratorio Ensayo Índice de Plasticidad Malla N°200



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

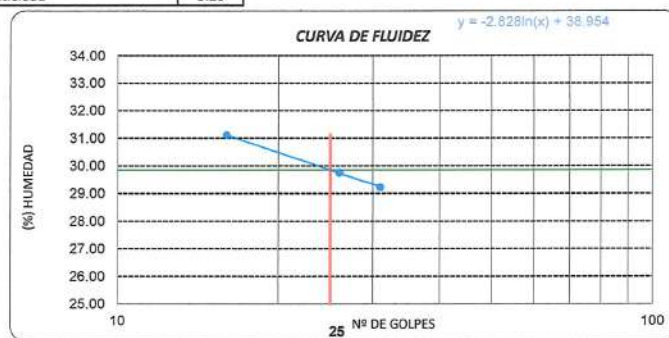


Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de Ensayo : 30 de abril del 2024

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo - Malla N°200
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131 / MTC E 110 / MTC E 111

Datos de ensayo.	Límite líquido				Límite Plástico	
	12	15	16	1	20	
N° de tarro	12	15	16	1	20	
N° de golpes	31	26	16	16		
Tarro + suelo húmedo	27.37	21.1	34.4	34.4	12.06	
Tarro + suelo seco	22.81	17.97	28.01	28.01	11.09	
Agua	4.56	3.13	6.39	6.39	0.97	
Peso del tarro	7.21	7.45	7.47	7.47	7.45	
Peso del suelo seco	15.6	10.52	20.54	20.54	3.64	
Porcentaje de humedad	29.23	29.75	31.11	31.11	26.65	

CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	29.85
Límite Plástico	26.65
Índice de Plasticidad	3.20



Observaciones:

Henry Ribadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

USAT
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
TECNICO DE LABORATORIO

Anexo 8: Informe de Laboratorio Ensayo Índice de Plasticidad Malla N°40



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

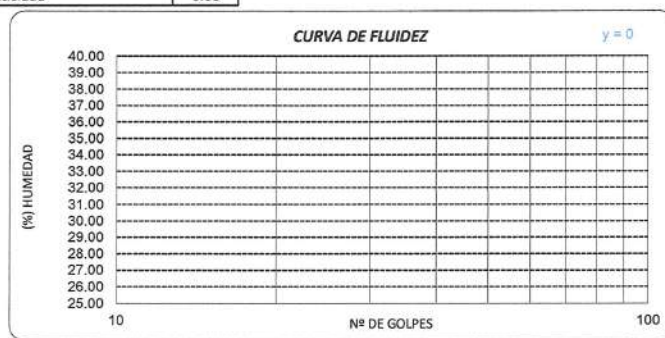


Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de Ensayo : 30 de abril del 2024

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo - Malla N°40
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131 / MTC E 110 / MTC E 111

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico		
	12	15	16	20		
N° de tarro	12	15	16	20		
N° de golpes	35	23	14			
Tarro + suelo húmedo	41.2	46.5	47.6	13.5		
Tarro + suelo seco	41.2	46.5	47.6	13.5		
Agua	0	0	0	0		
Peso del tarro	25.6	21.4	23.4	9.80		
Peso del suelo seco	15.6	25.1	24.2	3.7		
Porcentaje de humedad	0.00	0.00	0.00	0.00		

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	0.00
Límite Plástico	0.00
Índice de Plasticidad	0.00



Observaciones:

La muestra de ensayo de agregado fino no presenta plasticidad (NP).

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



Anexo 9: Informe de Laboratorio Ensayo Equivalente de Arena



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de Emisión : 02 de mayo del 2024

Ensayo : Equivalente de Arena
Referencia : Norma MTC E 114 / NTP 339.146

EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : Arena
Cantera : La Victoria - Pátapo

I.- DATOS

Muestra N°	1	2	3
Tamaño Máximo	N° 4	N° 4	N° 4
Altura máxima del material fino (cm)	7.10	7.40	7.50
Altura máxima de la arena (cm)	4.60	4.50	4.10
Equivalente de arena	64.79 %	60.81 %	54.67 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	61 %		
Requerimiento : 60% Mínimo			

Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
 Universidad Católica
Santo Torivio de Mogrovejo

USAT

TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 10: Informe de Laboratorio Ensayo Sales Solubles en Agregados para Pavimentos Flexibles – Agregado Fino



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de Ensayo : 03 de Mayo del 2024

Ensayo : Sales Solubles en Agregados Para Pavimentos Flexibles

Referencia : MTC E 219 / N.T.P 339.152 / USBR E - 8

Cantera	: La Victoria - Pátapo	
Muestra	: Arena	
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	500
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.05

Observaciones:


Henry Rivedeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT




USAT
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 11: Informe de Laboratorio Ensayo Sales Solubles en Agregados para Pavimentos Flexibles – Agregado Grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de Ensayo : 03 de Mayo del 2024

Ensayo : Sales Solubles en Agregados Para Pavimentos Flexibles
Referencia : MTC E 219 / N.T.P 339.152 / USBR E - 8

Cantera	: Tres tomas	
Muestra	: Piedra Chancada	
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	1400
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.14

Observaciones:


Henry Ribañeiza Obilitas
Tec. Laboratorio
USAT


LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 12: Informe de Laboratorio Ensayo para Determinar el Porcentaje de Caras Fracturadas en Agregado Grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de Ensayo : 16 de Abril del 2024

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (NORMA: MTC E 210; ASTM D 5821)

Cantera:

Piedra Chancada - Tres Tomas

A.- CON UNA CARA FRACTURADA.

TAMIZ		PESO MÍNIMO REQUERIDO	PESO MUESTRA A	PESO MATERIAL CON UNA CARA FRACT. B	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA $C = ((B/A)*100)$	PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS $E = C * D$
PASA	RETIENE						
3"	2 1/2"	---	---	---	---	---	---
2 1/2"	2"	---	---	---	---	---	---
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---	---
1"	3/4"	1000.0 g.	1004.0	877.0	87.4 %	1004.0 %	877.0 %
3/4"	1/2"	500.0 g.	611.0	529.0	86.6 %	611.0 %	529.0 %
1/2"	3/8"	250.0 g.	254.0	234.0	92.1 %	254.0 %	234.0 %
TOTAL		1750.0 g.	1869.0 g.	1640.0 g.		1869.0 %	1640.0 %

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = 87.75%

B.- CON DOS CARAS FRACTURADAS.

TAMIZ		PESO MÍNIMO REQUERIDO	PESO MUESTRA A	PESO MATERIAL CON DOS CARAS FRACT. B	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA $C = ((B/A)*100)$	PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS $E = C * D$
PASA	RETIENE						
3"	2 1/2"	000.0 g.	---	---	---	---	---
2 1/2"	2"	000.0 g.	---	---	---	---	---
2"	1 1/2"	000.0 g.	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	000.0 g.	---	---	---	---	---
1"	3/4"	1000.0 g.	1004.0	784.0	78.1 %	1004.0 %	784.0 %
3/4"	1/2"	500.0 g.	611.0	476.0	77.9 %	611.0 %	476.0 %
1/2"	3/8"	250.0 g.	254.0	199.0	78.3 %	254.0 %	199.0 %
TOTAL		1750.0 g.	1869.0 g.	1459.0 g.		1869.0 %	1459.0 %

PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS = 78.06%

NOTA: Las partículas fracturadas fue determinado por masa.


Henry Rivasdeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



Anexo 13: Informe de Laboratorio Ensayo Partículas Chatas y Alargadas en Agregado Grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO
ASMT D- 4791-89

Tesista : Eric Anderson Quispe Delgado
Escuela : Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler p
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha : 16 de Abril del 2024

Material: : Piedra chancada - Tres Tomas

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
TAMIZ (pu/g)	ABERTURA (mm)	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO	(%)	(%) CORR.	PESO	(%)	(%) CORR.
3/4"	19.00			100.00						
1/2"	12.50	500.0	56.82	43.18	15	1.70		4	0.45	
3/8"	9.50	200.0	22.73	20.45	18	2.05		25	2.84	
1/4"	6.30	180.0	20.45	-	10	1.14		14.3	1.63	
			TOTAL		43	4.89		43.3	4.92	

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(g)	880.0		
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	(%)	9.8	ESPECIFICACIÓN	10% Max.

OBSERVACIONES: El ensayo se realizó con la relación dimensional 1:3


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



Anexo 14: Informe de Laboratorio Ensayo Análisis Granulométrico en Agregados Gruesos y Finos



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS

MTC E 204 / ASTM C136 / AASHTO T27

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

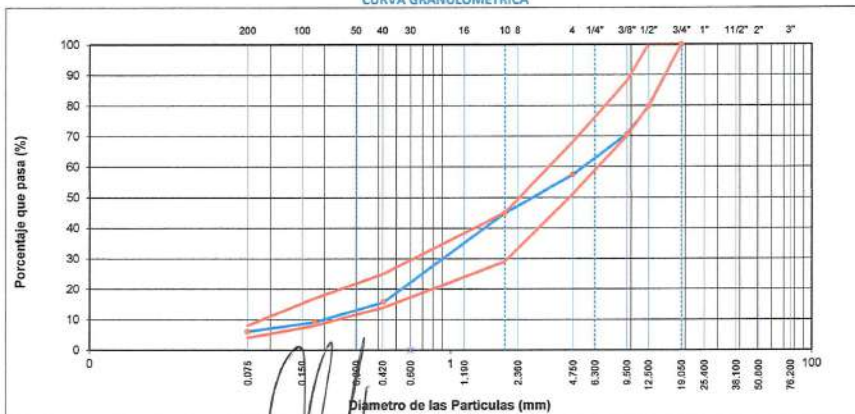
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFÁLTICO PER 80/70	

TAMAÑO MÁXIMO : 3/4"
 Peso Inicial Seco : 5000 g

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA		
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000				100.0	80 100	
1/2"	12.500	1012	20.2	20.2	79.8	67 85	
3/8"	9.500	461	9.2	29.5	70.5	60 77	
Nº 4	4.750	662	13.2	42.7	57.3	43 54	
Nº 10	2.000	618.0	12.4	55.1	44.9	29 45	Observación:
Nº 40	0.425	1447.0	29.1	84.2	15.8	14 25	
Nº 80	0.177	333.0	6.7	90.9	9.1	8 17	
Nº 200	0.075	151.0	3.0	94.0	6.0	4 8	
< Nº 200	FONDO	300.0	6.0	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



Henry Rivadeneira Obillas
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo 15: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Convencional 4.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DOSFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T-245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas

ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 4.5% CA

CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe

TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
Mezcla Aditiva	1500

Grava Chancada 3/4"	14312.5
Peso de CA	97.5
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Aditiva	1500

Material	% Mezcla	la Diseño
A. Grava Triturada	42.70	40.78
B. Arena	56.30	52.81
C. Filler	1.	6.41

% Que Pasa el Tamiz						
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40
100	79.8	70.5	57.3	44.9	35.8	9.1
100	80	70	58	45	35	17

J	Número de Brinqueta	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Prom.
1	CA, en peso de la mezcla	%	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
2	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78
3	% de arena combinada en peso de mezclafiner #4)	%	52.81	52.81	52.81	52.81	52.81	52.81	52.81	52.81	52.81	52.81	52.81	52.81	52.81
4	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% para mezcla #200)	%	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
5	Peso específico aparente de cemento asfáltico	g/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
6	Peso específico bulk de la grava (#40)	g/cc.	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637
7	Peso específico aparente de la grava (#40)	g/cc.	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674
8	Peso específico aparente de la grava (#10)	g/cc.	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
9	Peso específico bulk de la arena (#40)	g/cc.	2.587	2.587	2.587	2.587	2.587	2.587	2.587	2.587	2.587	2.587	2.587	2.587	2.587
10	Peso específico aparente de la arena (#40)	g/cc.	2.497	2.497	2.497	2.497	2.497	2.497	2.497	2.497	2.497	2.497	2.497	2.497	2.497
11	Peso específico aparente de la arena (#10)	g/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Alteza promedio de la compacta	cm.	6.817	6.817	6.817	6.817	6.817	6.817	6.817	6.817	6.817	6.817	6.817	6.817	6.817
13	Peso de la brinqueta en estado de equilibrio	g.	1167.2	1167.2	1167.2	1167.2	1167.2	1167.2	1167.2	1167.2	1167.2	1167.2	1167.2	1167.2	1167.2
14	Peso de la brinqueta en estado superfielmente seco	g.	1170.2	1170.2	1170.2	1170.2	1170.2	1170.2	1170.2	1170.2	1170.2	1170.2	1170.2	1170.2	1170.2
15	Peso de la brinqueta en el agua	g.	671.2	671.2	671.2	671.2	671.2	671.2	671.2	671.2	671.2	671.2	671.2	671.2	671.2
16	Volúmen de la brinqueta	cc.	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468	468
17	Peso unitario de la brinqueta	kg/m ³	13716	13716	13716	13716	13716	13716	13716	13716	13716	13716	13716	13716	13716
18	Peso específico técnico máximo (línea)	g/cc.	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484
19	Máxima densidad teórica de los agregados	g/cc.	2.474	2.474	2.474	2.474	2.474	2.474	2.474	2.474	2.474	2.474	2.474	2.474	2.474
20	% de vacíos con aire	%	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63
21	Peso específico bulk del Agregado total	g/cc.	2.624	2.624	2.624	2.624	2.624	2.624	2.624	2.624	2.624	2.624	2.624	2.624	2.624
22	Peso específico Aparente del agregado total	g/cc.	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666
23	Peso específico efectivo del agregado total	g/cc.	2.636	2.636	2.636	2.636	2.636	2.636	2.636	2.636	2.636	2.636	2.636	2.636	2.636
24	Asfalto absorbido por el agregado total	%	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
25	% de vacíos Agregado / Volumen bruto de la brinqueta	%	64.44	64.44	64.44	64.44	64.44	64.44	64.44	64.44	64.44	64.44	64.44	64.44	64.44
26	% de vacíos de equilibrio efectivo / volumen de equilibrio	%	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93
27	% de vacíos del agregado mínimo	%	15.56	15.56	15.56	15.56	15.56	15.56	15.56	15.56	15.56	15.56	15.56	15.56	15.56
28	% de vacíos de equilibrio	%	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34
29	Estabilidad en vacío	g	6030	6030	6030	6030	6030	6030	6030	6030	6030	6030	6030	6030	6030
30	Estabilidad en vacío (línea)	g	6127	6127	6127	6127	6127	6127	6127	6127	6127	6127	6127	6127	6127
31	Factor de estabilidad	mm	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484
32	Estabilidad consolidada	mm	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	Estabilidad consolidada (línea)	mm	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
34	Resistencia del pavimento	mm	813	813	813	813	813	813	813	813	813	813	813	813	813
35	Resistencia Estabilidad / Fluencia	mm	5146	5146	5146	5146	5146	5146	5146	5146	5146	5146	5146	5146	5146



Henry Obilobitas
 Rivadueyra Obilobitas
 Tec. Laboratorio USAT



CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Anexo 16: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Convencional_5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



TESSIS : influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas

ENSAYO : Mezcla Asfáltica – 5% CA
 CANTERA : La Victoria – Pátopo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TECNISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

DOSEIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

Grava Chancada 3/4"	40%
Areca	50%
Grava Triangular	1%
Grava de Cal	15
Grava de Filler	1500
Mezcla Asfáltica	5.6%

Material	El Material	El Precio
A	42.70	40.57
B	56.30	51.59
C	1	7.85

Material	El Material	El Precio
A	42.70	40.57
B	56.30	51.59
C	1	7.85

1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº100	Nº200
100	70.5	37.5	18.5	8.5	4.5	2.5	1.5	0.8

Henry Riquadencayra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT



Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Prom.
1	Nomenclatura de la muestra												
2	C.A. en peso de la mezcla												
3	% de grava triturada en peso de la muestra (máx. 4%)												
4	% de arenas embalsadas en peso de muestra (máx. 4%)												
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 60% para mezcla 200)												
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico												
7	Peso específico bulk de la grava (ASTM C 137 - AASHTO T 95 - MTC E 200)												
8	Peso específico bulk de la arena (ASTM C 137 - AASHTO T 95 - MTC E 200)												
9	Peso específico bulk de la arena (ASTM C 138 - AASHTO T 96 - MTC E 200)												
10	Peso específico aparente de la arena (ASTM C 138 - AASHTO T 96 - MTC E 200)												
11	Peso específico aparente del filler												
12	Altura promedio de la biquete												
13	Peso de la biquete en aire												
14	Peso de la biquete saturado superficialmente seco												
15	Peso de la biquete en agua												
16	Volumen de la biquete - 14.15												
17	Peso específico aparente de la grava (ASTM C 137 - AASHTO T 95 - MTC E 200)												
18	Peso específico aparente de la arena (ASTM C 138 - AASHTO T 96 - MTC E 200)												
19	Módulo de elasticidad teórico de los compactados (ASTM D 3025 - MTC E 505)												
20	% de vacíos con aire (ASTM D 3025 - MTC E 505)												
21	Para especifico bulk del Agregado Total (100-2)(107)(4)(9)(5)(11)												
22	Para especifico Aparente del agregado total (100-2)(107)(4)(9)(5)(11)												
23	Para especifico Aparente del agregado total (100-2)(107)(4)(9)(5)(11)												
24	Asfalto absorbido por el agregado total (100-6)(2-2)(107)(9)(11)(12)												
25	% del volú de Agregado / Volumen Bruto de la biquete (3-4)(1-1)(2-1)												
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de biquete (100-2)(107)(9)(11)												
27	% vacíos del agregado mineral (100-2)(107)(9)(11)												
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla (2-1)(107)(9)(11)												
29	Asfalto absorbido (100-2)(107)(9)(11)												
30	Elasticidad de compact (base de calibración del amol)												
31	Factor de estabilidad												
32	Elasticidad corrigida F1/F2												
33	Lectura del dinamómetro (0.01") (107)(9)(11)												
34	Fluencia												
35	Influencia Estabilidad / Fluencia												

Anexo 17: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Convencional_5.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T-245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de pleuiza chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas

MATERIA: Mezcla Asfáltica - 5.5% CA

CANTERA : La Victoria - Páscapo / Tres Tomas - Ferretafé

TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Peso de Muestra	1400.5
Peso de C.A.	82.5
Peso de Cal (Filler)	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Grava Chancada 3/4"	49%
Grava Chancada 1/2"	50%
Grava Chancada 3/8"	1%
Grava Chancada 1/4"	0%
Grava Chancada 3/16"	0%
Grava Chancada 1/8"	0%
Grava Chancada 3/32"	0%
Grava Chancada 1/32"	0%
Grava Chancada 1/64"	0%
Grava Chancada 1/128"	0%
Grava Chancada 1/256"	0%
Grava Chancada 1/512"	0%
Grava Chancada 1/1024"	0%
Grava Chancada 1/2048"	0%
Grava Chancada 1/4096"	0%
Grava Chancada 1/8192"	0%
Grava Chancada 1/16384"	0%
Grava Chancada 1/32768"	0%
Grava Chancada 1/65536"	0%
Grava Chancada 1/131072"	0%
Grava Chancada 1/262144"	0%
Grava Chancada 1/524288"	0%
Grava Chancada 1/1048576"	0%
Grava Chancada 1/2097152"	0%
Grava Chancada 1/4194304"	0%
Grava Chancada 1/8388608"	0%
Grava Chancada 1/16777216"	0%
Grava Chancada 1/33554432"	0%
Grava Chancada 1/67108864"	0%
Grava Chancada 1/134217728"	0%
Grava Chancada 1/268435456"	0%
Grava Chancada 1/536870912"	0%
Grava Chancada 1/1073741824"	0%
Grava Chancada 1/2147483648"	0%
Grava Chancada 1/4294967296"	0%
Grava Chancada 1/8589934592"	0%
Grava Chancada 1/17179869184"	0%
Grava Chancada 1/34359738368"	0%
Grava Chancada 1/68719476736"	0%
Grava Chancada 1/137438953472"	0%
Grava Chancada 1/274877906944"	0%
Grava Chancada 1/549755813888"	0%
Grava Chancada 1/1099511627776"	0%
Grava Chancada 1/2199023255552"	0%
Grava Chancada 1/4398046511104"	0%
Grava Chancada 1/8796093022208"	0%
Grava Chancada 1/1759218644416"	0%
Grava Chancada 1/3518437288832"	0%
Grava Chancada 1/7036874577664"	0%
Grava Chancada 1/14073749153328"	0%
Grava Chancada 1/28147498306656"	0%
Grava Chancada 1/56294996613312"	0%
Grava Chancada 1/11258999326624"	0%
Grava Chancada 1/22517998653248"	0%
Grava Chancada 1/45035997306496"	0%
Grava Chancada 1/90071994612992"	0%
Grava Chancada 1/180143989259984"	0%
Grava Chancada 1/360287978519968"	0%
Grava Chancada 1/720575957039936"	0%
Grava Chancada 1/1441151914079872"	0%
Grava Chancada 1/2882303828159744"	0%
Grava Chancada 1/5764607656319488"	0%
Grava Chancada 1/11529215312738976"	0%
Grava Chancada 1/23058430625477952"	0%
Grava Chancada 1/46116861251955904"	0%
Grava Chancada 1/92233722503911808"	0%
Grava Chancada 1/18446745100783616"	0%
Grava Chancada 1/36893490201567232"	0%
Grava Chancada 1/73786980403134464"	0%
Grava Chancada 1/14757396080626928"	0%
Grava Chancada 1/29514792161253856"	0%
Grava Chancada 1/59029584322507712"	0%
Grava Chancada 1/118059168645015424"	0%
Grava Chancada 1/236118337290030848"	0%
Grava Chancada 1/472236674580061696"	0%
Grava Chancada 1/944473349160123392"	0%
Grava Chancada 1/188894678320246784"	0%
Grava Chancada 1/377789356640493568"	0%
Grava Chancada 1/755578713280987136"	0%
Grava Chancada 1/1511157426561974272"	0%
Grava Chancada 1/3022314853123948448"	0%
Grava Chancada 1/6044629706247896896"	0%
Grava Chancada 1/1208925941249579392"	0%
Grava Chancada 1/2417851882499158784"	0%
Grava Chancada 1/4835703764998317568"	0%
Grava Chancada 1/9671407529996635136"	0%
Grava Chancada 1/1934295057999327072"	0%
Grava Chancada 1/3868590115998654144"	0%
Grava Chancada 1/7737180231997308288"	0%
Grava Chancada 1/1547436463994616576"	0%
Grava Chancada 1/3094872927989233152"	0%
Grava Chancada 1/6189745855978466304"	0%
Grava Chancada 1/12379491711557332608"	0%
Grava Chancada 1/247589834231141462112"	0%
Grava Chancada 1/495179668462282924224"	0%
Grava Chancada 1/990359336924565848448"	0%
Grava Chancada 1/1980718738481131730896"	0%
Grava Chancada 1/3961437476962263461771904"	0%
Grava Chancada 1/792287495392452692353392"	0%
Grava Chancada 1/1584574910849053846706784"	0%
Grava Chancada 1/3169149821698110773413576"	0%
Grava Chancada 1/63382996433962215546871552"	0%
Grava Chancada 1/12676599287932431089373104"	0%
Grava Chancada 1/253531985758648621778646208"	0%
Grava Chancada 1/507063971517297253457284416"	0%
Grava Chancada 1/1014127943034574567114888384"	0%
Grava Chancada 1/2028255886069148814317777728"	0%
Grava Chancada 1/40565117721383673734675456"	0%
Grava Chancada 1/811302354427673470694911104"	0%
Grava Chancada 1/16226047105534473818818222208"	0%
Grava Chancada 1/32452094211068676637637644416"	0%
Grava Chancada 1/64904188422137353267527288832"	0%
Grava Chancada 1/1298083768442671047154555556656"	0%
Grava Chancada 1/259616753688534214283091111104"	0%
Grava Chancada 1/519233507377068447672582222208"	0%
Grava Chancada 1/103846701475413689555654444416"	0%
Grava Chancada 1/20769340295082737791113781111104"	0%
Grava Chancada 1/4153868059016547558222637222208"	0%
Grava Chancada 1/8307736118033089510554454444416"	0%
Grava Chancada 1/166154722360617191111111111104"	0%
Grava Chancada 1/33230944472123438222222222208"	0%
Grava Chancada 1/66461888944246876444444444416"	0%
Grava Chancada 1/1329237778884817289488888888832"	0%
Grava Chancada 1/26584755777696345789777777664"	0%
Grava Chancada 1/531695115553926917577555555528"	0%
Grava Chancada 1/106339023071783543151515151104"	0%
Grava Chancada 1/21267804614367070630303030208"	0%
Grava Chancada 1/42535609227334141260606060416"	0%
Grava Chancada 1/8507121845466828252121212104"	0%
Grava Chancada 1/170142436909325364545454508"	0%
Grava Chancada 1/34028487381865070909090916"	0%
Grava Chancada 1/68056974763730141818181832"	0%
Grava Chancada 1/13611395447460203636363664"	0%
Grava Chancada 1/272227908949204072727272128"	0%
Grava Chancada 1/5444558178964080145454545256"	0%
Grava Chancada 1/108891163579601602909090512"	0%
Grava Chancada 1/2177823271592032058181818104"	0%
Grava Chancada 1/4355646543184064116363636208"	0%
Grava Chancada 1/871129308636812823272727416"	0%
Grava Chancada 1/1742258172736160465454545832"	0%
Grava Chancada 1/3484516345472211210909091664"	0%
Grava Chancada 1/6969032690944422421818183296"	0%
Grava Chancada 1/13938065381888484483636366592"	0%
Grava Chancada 1/27876130763776969672727213184"	0%
Grava Chancada 1/55752261527553939345454526368"	0%
Grava Chancada 1/11150452305107878789090952736"	0%
Grava Chancada 1/22300904601155757581818105472"	0%
Grava Chancada 1/446018092023111515163636210944"	0%
Grava Chancada 1/8920361840462230303072727221888"	0%
Grava Chancada 1/1784072368092460606045454543776"	0%
Grava Chancada 1/35681447361849212121210909097552"	0%
Grava Chancada 1/71362894723698418418181815104"	0%
Grava Chancada 1/14272578947396767367367363072"	0%
Grava Chancada 1/285451578947535347535347535341536"	0%
Grava Chancada 1/5709031578947535347535347535343072"	0%
Grava Chancada 1/114180631578947535347535347535346144"	0%
Grava Chancada 1/22836126315789475353475353475353412288"	0%
Grava Chancada 1/456722526315789475353475353475353424576"	0%
Grava Chancada 1/9134450526315789475353475353475353449152"	0%
Grava Chancada 1/182689010526315789475353475353475353498304"	0%
Grava Chancada 1/36537802105263157894753534753534753534196608"	0%
Grava Chancada 1/730756042105263157894753534753534753534393216"	0%
Grava Chancada 1/14615120842105263157894753534753534753534786432"	0%
Grava Chancada 1/292302416842105263157894753534753534753534157264"	0%
Grava Chancada 1/584604832842105263157894753534753534753534314528"	0%
Grava Chancada 1/11692096656842105263157894753534753534753534629056"	0%
Grava Chancada 1/2338419331368421052631578947535347535347535341258112"	0%
Grava Chancada 1/4676838662736842105263157894753534753534753534251624"	0%
Grava Chancada 1/93536773254736842105263157894753534753534753534503248"	0%
Grava Chancada 1/18707350509587368421052631578947535347535347535341006496"	0%
Grava Chancada 1/3741470101917587368421052631578947535347535347535342012992"	0%
Grava Chancada 1/748294020383517587368421052631578947535347535347535344025984"	0%
Grava Chancada 1/14965880407670357368421052631578947535347535347535348051968"	0%
Grava Chancada 1/2993176081534070717587368421052631578947535347535347535341610336"	0%
Grava Chancada 1/59863521630703517587368421052631578947535347535347535343220704"	0%
Grava Chancada 1/119727043260140703517587368421052631578947535347535347535346441408"	0%
Grava Chancada 1/23945408652028028035175873684210526315789475353475353475353412882816"	0%
Grava Chancada 1/4789081730405605603517587368421052631578947535347535347535342576532"	0%
Grava Chancada 1/95781634608112011203517587368421052631578947535347535347535345153064"	0%
Grava Chancada 1/191563272160224040224035175873684210526315789475353475353475353410306128"	0%
Grava Chancada 1/3831265443204480804480435175873684210526315789475353475353475353420612256"	0%
Grava Chancada 1/766253088640896160896163517587368421052631578947535347535347535344122512"	0%
Grava Chancada 1/153250677281792321619232163517587368421052631578947535347535347535348245024"	0%
Grava Chancada 1/306501354563584643238438435175873684210526315789475353475353475353416490048"	0%
Grava Chancada 1/6130027091267688864768886435175873684210526315789475353475353475353432980192"	0%
Grava Chancada 1/122600541833537777361537773635175873684210526315789475353475353475353465960384"	0%
Grava Chancada 1/2452010836670755475547554351758736842105263157894753534753534753534131920768"	0%
Grava Chancada 1/4904021673341110909090909090351758736842105263157894753534753534753534263841536"	0%
Grava Chancada 1/98080433466822218181818181818351758736842105263157894753534753534753534527683072"	0%
Grava Chancada 1/196160868133644436363636363635175873684210526315789475353475353475353410553744448"	0%
Grava Chancada 1/3923217362672888727272727272735175873684210526315789475353475353475353421107188896"	0%
Grava Chancada 1/78464347253457775555555555553517587368421052631578947535347535347535344221537792"	0%
Grava Chancada 1/15692869450691551111111111111135175873684210526315789475353475353475353484431544448"	0%
Grava Chancada 1/313857389013838302222222222223517587368421052631578947535347535347535341688688896"	0%
Grava Chancada 1/627714778027676644444444444443517587368421052631578947535347535347535343377377792"	0%
Grava Chancada 1/12554295560533328888888888888351758736842105263157894753534753534753534675475544448"	0%
Grava Chancada 1/25108591121066657777777777777351758736842105263157894753534753534753534135095108896"	0%
Grava Chancada 1/50217182242133311555555555555351758736842105263157894753534753534753534270190217792"	0%
Grava Chancada 1/1004343648426662222222222223517587368421052631578947535347535347535345403804354448"	0%
Grava Chancada 1/2008687296853324444444444444351758736842105263157894753534753534753534108076087088"	0%
Grava Chancada 1/4017374593706648888888888888351758736842105263157894753534753534753534216152173776"	0%
Grava Chancada 1/80347491874132977777777777773517587368421052631578947535347535347535	

Anexo 18: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Convencional_6% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 MATERIAL: Mezcla Asfáltica - 6% CA
 CANTERA : La Victoria - Plajico / Tros Tomas - Ferrelife
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

DOSEIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / ASHTO T -245

Peso de Mezcla	1395	
Peso de CA	190	6.0%
Peso de Filler	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Grava Chancada 3/4"	40%
Arena	30%
Car (Filler)	3%
Gravilla	27%

Materiales	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.14
B Arena	56.30	51.98
C Filler	1	7.88

% Que Pasa al Tamiz	
1"	3/4"
3/8"	3/16"
1/4"	1/8"
15	75
100	100

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Prom.
1	Número de Búsqueda												
2	C.A. en peso de la mezcla												
3	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
4	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14
5	51.98	51.98	51.98	51.98	51.98	51.98	51.98	51.98	51.98	51.98	51.98	51.98	51.98
6	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
7	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
8	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
9	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
10	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
11	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
12	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08
13	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72
14	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85
15	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59
16	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86
17	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43
18	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43
19	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43
20	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09
21	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
22	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
23	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
24	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08
25	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72	11.72
26	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85	110.85
27	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59	510.59
28	67.87	67.87	67.87	67.87	67.87	67.87	67.87	67.87	67.87	67.87	67.87	67.87	67.87
29	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158
30	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648
31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
32	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648	3648
33	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
34	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
35	4052	4052	4052	4052	4052	4052	4052	4052	4052	4052	4052	4052	4052

Henry Obillos
 USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Anexo 19: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Convencional



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D - 2041

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	575	575	575	575
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2657	2555	2706	2702
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1584	1516	1656	1679
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	4249.0	4126.0	4246.0	4169.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	2665	2610	2590	2490
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	1073	1039	1050	1023
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.484	2.512	2.467	2.484


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 20: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Convencional

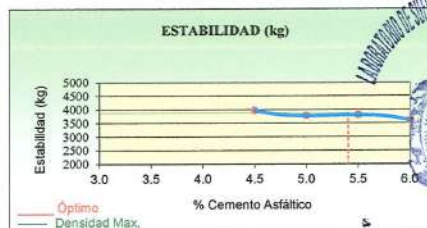
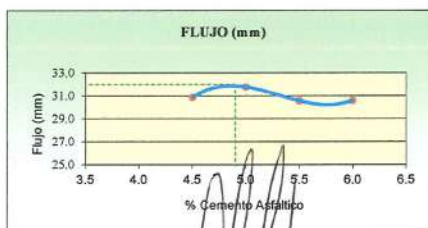
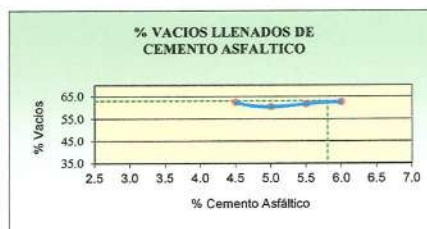
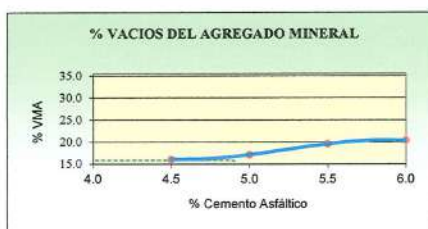
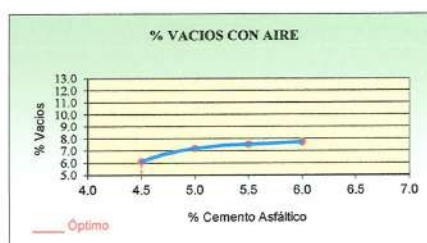
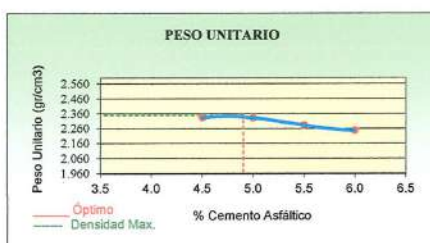


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	4.9
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.350
Vacios (%)	5.90
Vacios del Agregado mineral (%)	15.80
Vacios Llenados de C.A (%)	63.00
Flujo (mm)	8.13
Estabilidad (Kg)	3880
Relación Polvo Asfalto	0.82

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad

Anexo 21: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_4.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 4.5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de CA	67.5 4.5%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.78
B Arena	56.30	44.22
C Filler	1	15.01

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8

1	Número de briqueata	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	44.22	44.22	44.22	44.22	44.22	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	9.55	9.55	9.55	9.55	9.55	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueata	cm.	5.51	6.54	6.47	6.26	6.23	
13	Peso de la briqueata en el aire	gr.	994.8	1166	1117.4	1136.8	1132.5	
14	Peso de la briqueata saturada superficialmente seca	gr.	999.16	1178.34	1128.5	1145.7	1142.3	
15	Peso de la briqueata en el agua 25 °C	gr.	540.6	642.23	621.5	632.2	625.3	
16	Volumen de la briqueata 14-15	c.c.	458.61	536.11	507.0	513.6	517.0	
17	Peso unitario de la briqueata 13/15 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.169	2.175	2.204	2.214	2.191	2.190
18	Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.762	2.762	2.762	2.762	2.762	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2/(7*8))+4*2/(9+10))	gr/cc.	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	21.48	21.27	20.21	19.87	20.70	20.71
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.895	2.895	2.895	2.895	2.895	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.941	2.941	2.941	2.941	2.941	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc.	2.973	2.973	2.973	2.973	2.973	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-5(23-21)/23*21 (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueata (3+4)*17/21	%	70.85	71.04	71.99	72.30	71.55	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueata 100-(25+20)	%	7.67	7.69	7.80	7.83	7.75	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	29.15	28.96	28.01	27.70	28.45	28.46
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	26.33	26.57	27.84	28.27	27.24	27.25
30	Estabilidad sin correjir (tabla de calibración del anillo)	kg	1623	1892	2208	2090	2136	
31	Factor de estabilidad		1.19	0.93	1.04	1.00	1.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1931	1760	2296	2090	2136	2043
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	p.u.	34	37	31	28	25	31
34	Fluencia	mm/m.	8.64	9.40	7.87	7.11	6.35	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2236	1872	2916	2939	3364	2665

Henry Rivadeneira Obítas
 LISAT



Anexo 22: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410
Peso de C.A	75 5.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.57
B Arena	56.30	48.74
C Filler	1	10.70

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N#4	N#10	N#40	N#200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briqueeta					
2	C.A. en peso de la mezcla	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.57	40.57	40.57	40.57	40.57
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	48.74	48.74	48.74	48.74	48.74
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.637	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.674	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.567	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueeta	cm. 5.12	5.83	5.97	6.115	6.21
13	Peso de la briqueeta en el aire	gr. 981.9	1062.4	1088.0	1125.5	1136.5
14	Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr. 990.55	1070.09	1097.2	1134.4	1141.2
15	Peso de la briqueeta en el agua 25 °C	gr. 501.1	601.83	621.0	644.3	645.3
16	Volumen de la briqueeta 14-15	c.c. 489.45	468.26	476.2	490.0	495.9
17	Peso unitario de la briqueeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.006	2.269	2.285	2.297	2.292
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.799	2.799	2.799	2.799	2.799
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+4*2/(9+10))	gr/cc. 2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 28.31	18.93	18.36	17.93	18.11
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-21)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc. 2.738	2.738	2.738	2.738	2.738
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc. 2.781	2.781	2.781	2.781	2.781
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4) /((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc. 3.049	3.049	3.049	3.049	3.049
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 2269, MTC E 511)	% 3.81	3.81	3.81	3.81	3.81
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta (3+4)*17/21	% 68.91	77.93	78.48	78.89	78.72
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueeta 100-(25+28)	% 2.77	3.14	3.16	3.18	3.17
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 31.09	22.07	21.52	21.11	21.28
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	% 1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
29	Relación betón vacíos (26/27)*100	% 8.93	14.22	14.69	15.05	14.90
30	Lectura del ara.	pul. 158	170	162	162	162
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 2310	2882	3072	3210	3165
31	Factor de estabilidad	1.09	1.19	1.14	1.09	1.04
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 2518	3430	3502	3499	3292
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul. 27	33	30	29	28
34	Fluencia	m.m. 6.86	8.38	7.62	7.37	7.11
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 3671	4092	4596	4750	4628

USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 Henry Rivadeneira Oblitas
 USAT

Anexo 23: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 5.5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5
Peso de CA	82.5 5.5%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.35
B Arena	56.30	52.26
C Filler	1	7.39

Mezcla
 Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briqueta					
2	CA. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	5.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.35	40.35	40.35	40.35
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.26	52.26	52.26	52.26
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	0.95
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.697	2.697	2.697	2.697
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	5.43	5.86	6.01	5.78
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1085.6	1034.2	1152.6	1065.9
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1092.54	1041.16	1162.6	1072.4
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	609.6	575.92	648.5	595.8
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	482.97	465.24	514.1	476.6
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.248	2.223	2.242	2.237
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.530	2.530	2.530	2.530
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$	gr/cc	2.438	2.438	2.438	2.438
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	11.14	12.12	11.37	11.58
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc	2.624	2.624	2.624	2.624
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc	2.666	2.666	2.666	2.666
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc	2.739	2.739	2.739	2.739
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - (6/23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.63	1.63	1.63	1.63
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	80.13	79.25	79.92	79.73
26	% del volumen de asfalto efectiva / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	8.73	8.63	8.71	8.69
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	19.87	20.75	20.08	20.27
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	3.99	3.99	3.99	3.99
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	43.94	41.60	43.38	42.87
30	Lectura del arco.	pul.	158	170	162	162
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3210	3150	3091	2965
31	Factor de estabilidad		1.09	1.19	1.00	1.14
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3499	3749	3091	3380
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.054)	pul.	94	81	83	29
34	Fluencia	mm.	8.64	7.87	8.38	7.62
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	400.9	4761	3688	4436

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES
 USAT
 Universidad Católica

Anexo 24: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _6% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas
 MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 6% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO P&M 60/70	

Peso de Muestra	1385
Peso de C.A	90 6.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.14
B Arena	56.30	51.04
C Filler	1	8.82

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

Mezcla	Especificaciones IVB
--------	----------------------

#	1	2	3	4	5	Prom.		
1	Número de briqueta	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.04	51.04	51.04	51.04	51.04	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.24	6.22	5.28	6.06	6.12	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1196.4	1146.7	971.3	1147.1	1142.5	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1142.54	1153.69	980.5	1152.6	1158.6	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	650.2	659.31	465.0	613.1	623.2	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	492.39	494.38	515.5	539.4	535.4	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.308	2.319	1.884	2.127	2.134	2.154
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3/2) + (7/8) + (4/2) + (9/10))$	gr/cc.	2.442	2.442	2.442	2.442	2.442	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	12.61	12.17	28.65	19.48	19.20	18.42
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.694	2.694	2.694	2.694	2.694	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4/P-10))$	gr/cc.	2.908	2.908	2.908	2.908	2.908	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23-21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	80.99	81.40	66.13	74.62	74.88	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	6.40	6.43	5.23	5.90	5.92	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	19.01	18.60	33.87	25.38	25.12	24.40
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - [(24/100) * (3+4)]$	%	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	33.68	34.59	15.43	23.25	23.57	26.11
30	Lectura del aro.	pul.	158	170	162	162	162	
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3461	4027	3128	3752	3698	
31	Factor de estabilidad		1.09	1.09	1.00	0.93	0.93	
32	Estabilidad corregida, 31*32	kg	3772	4389	3128	3489	3439	3644
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	31	30	28	27	26	28
34	Fluencia	m.m.	7.87	7.62	7.11	6.86	6.60	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4791	5760	4398	5088	5208	5049



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT Universidad Católica

Anexo 25: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2681	2587	2650	2690
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2138	2051	2057	2122
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3638.0	3551.0	3557.0	3622.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	543	536	593	568
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.762	2.799	2.530	2.641


Henry Rivadeneira Obitas
Tec. Laboratorio USAT
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo


LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 26: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 80% Cal – 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada

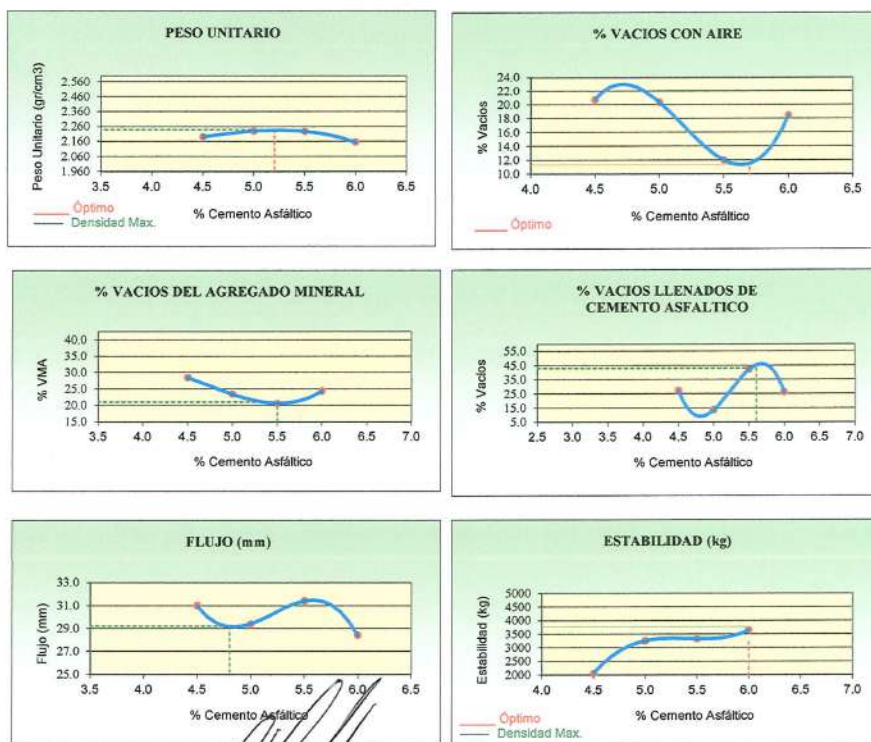


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica 80%Cal - 20% Polvo de Desecho de Piedra Chancada
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado



Henry Rivadeneira Oblitas
 Téc. Laboratorio USAT

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.6
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.240
Vacios (%)	11.30
Vacios del Agregado mineral (%)	21.00
Vacios Llenados de C.A (%)	43.00
Flujo (mm)	7.42
Estabilidad (Kg)	3780
Relación Polvo Asfalto	0.381

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad



Anexo 27: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_4.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 4.5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de C.A	67.5
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.78
B Arena	56.30	44.22
C Filler	1	15.01

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	IVB
--------	-----

I	Número de briqueeta	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	44.22	44.22	44.22	44.22	44.22	44.22
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	9.55	9.55	9.55	9.55	9.55	9.55
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueeta	cm.	5.78	5.63	5.86	5.57	6.1	
13	Peso de la briqueeta en el aire	gr.	1026.3	1001	1045.3	1022.4	1125.6	
14	Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr.	1135.79	1023.07	1060.6	1032.9	1136.5	
15	Peso de la briqueeta en el agua 25 °C	gr.	672.4	550.74	578.7	564.7	620.6	
16	Volumen de la briqueeta 14-15	c.c.	463.43	472.33	481.9	468.2	515.9	
17	Peso unitario de la briqueeta 13/15 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.215	2.119	2.169	2.184	2.182	2.174
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.762	2.762	2.762	2.762	2.762	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	19.83	23.28	21.47	20.95	21.02	21.31
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	2.895	2.895	2.895	2.895	2.895	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.941	2.941	2.941	2.941	2.941	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc	2.973	2.973	2.973	2.973	2.973	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta (3+4)*17/21	%	72.33	69.22	70.85	71.33	71.26	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueeta 100-(25+20)	%	7.83	7.50	7.67	7.73	7.72	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	27.67	30.78	29.15	28.67	28.74	29.00
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	28.32	24.96	26.33	26.94	26.86	26.56
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2033	1308	2083	2522	2760	
31	Factor de estabilidad		1.19	1.14	1.14	1.19	1.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2419	1491	2375	3001	2760	2409
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	30	35	33	37	32	34
34	Fluencia	m.st	8.33	8.89	8.38	9.40	8.13	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	mm	2978	1677	2853	3193	3396	2815

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT Universidad Católica



Anexo 28: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T-245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 5% CA
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410
Peso de C.A.	75 5.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.57
B Arena	56.30	48.74
C Filler	1	10.70

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-6	

Mezcla	
Especificaciones IVB	

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.57	40.57	40.57	40.57	40.57
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	48.74	48.74	48.74	48.74	48.74
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.637	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.674	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.567	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm. 6.2	6.66	5.96	5.59	6.05
13	Peso de la briqueta en el aire	gr. 1157.5	1112	1077.4	988.4	1124.6
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr. 1165.04	1117.6	1086.4	1040.0	1132.0
15	Peso de la briqueta en el agua	gr. 650.9	632.31	615.9	561.0	620.0
16	Volumen de la briqueta 14-15	cc. 514.14	485.29	470.5	479.0	512.0
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.251	2.291	2.290	2.063	2.196
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.627	2.627	2.627	2.627	2.627
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/8) + (3/2) + (7/8) + (4/2) + (1/9) + 10)$	gr/cc. 2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 9203, MTC E 505)	% 14.30	12.77	12.83	21.45	16.39
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/8) + (5/11))$	gr/cc. 2.738	2.738	2.738	2.738	2.738
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc. 2.781	2.781	2.781	2.781	2.781
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4/P - 10))$	gr/cc. 2.835	2.835	2.835	2.835	2.835
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	% 77.33	78.71	78.66	70.88	75.45
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	% 8.37	8.52	8.51	7.67	8.16
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 22.67	21.29	21.34	29.12	24.55
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	% 3.96	3.86	3.86	3.86	3.86
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	% 96.91	40.00	39.87	26.33	33.25
30	Lectura del ora	pul. 158	170	162	162	162
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 2210	2273	2251	1570	2150
31	Factor de estabilidad	1.00	1.09	1.14	1.14	1.00
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 2210	2478	2566	1750	2239
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.294)	pul. 33	34	32	30	32
34	Fluencia	mm 8.38	8.64	8.19	7.62	7.87
35	Relación Estabilidad / Fluencia	mm 2637	2869	3157	2349	2731

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT Universidad Católica



Anexo 29: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _5.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 5.5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5
Peso de C.A	82.5 5.9%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.35
B Arena	56.30	49.90
C Filler	1	9.75

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

	#	1	2	3	4	5	Prom.
1 Número de briqueta	%	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
2 C.A. en peso de la mezcla	%	40.35	40.35	40.35	40.35	40.35	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	49.90	49.90	49.90	49.90	49.90	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
11 Peso específico aparente del filler	cm	5.47	5.47	6.13	6.3	6.1	
12 Altura promedio de la briqueta	gr.	1020	993.9	1137.8	1158.2	1126.9	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	1027.79	1028	1174.7	1164.5	1140.6	
14 Peso de la briqueta saturado superficialmente seca	gr.	576.8	559.32	642.3	655.8	654.6	
15 Peso de la briqueta en el agua	c.c	451.02	468.68	532.4	508.7	486.0	
16 Volumen de la briqueta 14-15	gr/cc	2.262	2.121	2.137	2.277	2.319	2.223
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.564	2.564	2.564	2.564	2.564	
18 Peso específico técnico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.494	2.494	2.494	2.494	2.494	
19 Máxima densidad teórica de las agregadas 100/((2/6)+(3*2)/(7*8)+(4*2)/(9*10))	%	11.80	17.30	16.66	11.20	9.57	13.31
20 % de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	gr/cc	2.694	2.694	2.694	2.694	2.694	
21 Peso específico Bulk del Agregado Total (100-21)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	
22 Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.782	2.782	2.782	2.782	2.782	
23 Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	%	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	
24 Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	78.53	73.64	74.21	79.06	80.52	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%	9.67	9.07	9.14	9.74	9.91	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	%	21.47	26.36	25.79	20.94	19.48	22.81
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	45.04	34.39	35.42	46.49	50.88	42.45
29 Relación betún vacíos (26/27)*100	pul.	158	170	162	162	162	
30 Lectura del ara	kg	2395	2250	2901	2846	2960	
31 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1.25	1.19	0.96	1.00	1.09	
32 Factor de estabilidad	kg	2919	2678	2785	2846	3226	2891
33 Estabilidad corregida 31*32	pul.	31	31	32	34	32	32
34 Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	m.m.	7.87	7.87	8.13	8.64	8.13	
35 Fluencia	m.m.	3707	3400	3426	3296	3969	3560

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo 30: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_6% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOISIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas
MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 6% CA
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395
Peso de CA	90 6.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.14
B Arena	56.30	49.15
C Filler	1	10.70

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80-100	70-86	51-66	38-51	17-28	8-17	4-8

Mezcla	
Especificaciones IVB	

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briketa					
2	C.A. en peso de la mezcla	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	49.16	49.16	49.16	49.16	49.16
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc 1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc 2.637	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc 2.674	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc 2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc 2.567	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc 1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briketa	cm. 6.24	5.46	5.71	6.53	6.4
13	Peso de la briketa en el aire	gr. 1154.2	990.5	1065.5	1187.1	1175.9
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr. 1168.72	997.34	1076.6	1192.9	1190.5
15	Peso de la briketa en el agua 25 °C	gr. 629.5	525.29	615.4	683.4	675.8
16	Volumen de la briketa 14-15	c.c. 539.18	472.05	461.2	509.5	514.7
17	Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc 2.141	2.098	2.311	2.330	2.285
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc 2.582	2.582	2.582	2.582	2.582
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3/2)+(7/8)+(4/2)+(9/10))	gr/cc 2.486	2.486	2.486	2.486	2.486
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18)	% 17.09	18.73	10.51	9.75	11.51
21	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-2/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc 2.709	2.709	2.709	2.709	2.709
22	Peso específico Aparente del agregado total 100-2/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc 2.752	2.752	2.752	2.752	2.752
23	Peso específico efectivo del agregado total 3+4/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc 2.831	2.831	2.831	2.831	2.831
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 1.64	1.64	1.64	1.64	1.64
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21	% 73.55	72.09	79.38	80.06	78.49
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa 100-(25+20)	% 9.37	9.18	10.11	10.20	10.00
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 26.45	27.91	20.62	19.94	21.51
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla 2-(24/100)*(3+4)	% 4.54	4.54	4.54	4.54	4.54
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	% 35.42	32.91	49.05	51.14	46.49
30	Lectura del ara	pul. 158	170	162	162	162
31	Estabilidad sin corregir (tablo de calibración del anillo)	kg 2976	2037	2564	3224	3186
32	Factor de estabilidad	0.93	1.14	1.19	1.00	0.96
33	Estabilidad corregida 31*32	2768	2322	3051	3224	2885
34	Lectura del Flexímetro (0.01") (35 / 0.284)	pul./in. 35	32	31	32	32
35	Fluencia	m.m. 8.13	8.89	8.13	7.87	8.13
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 3403	261.2	3754	4094	3763

Henry Rivadeneira Oblitas
USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

Anexo 31: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2599	2666	2665	2668
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2056	2095	2080	2087
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3556.0	3595.0	3580.0	3587.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	543	571	585	581
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.762	2.627	2.564	2.582


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
 USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 32: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 60% Cal – 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada

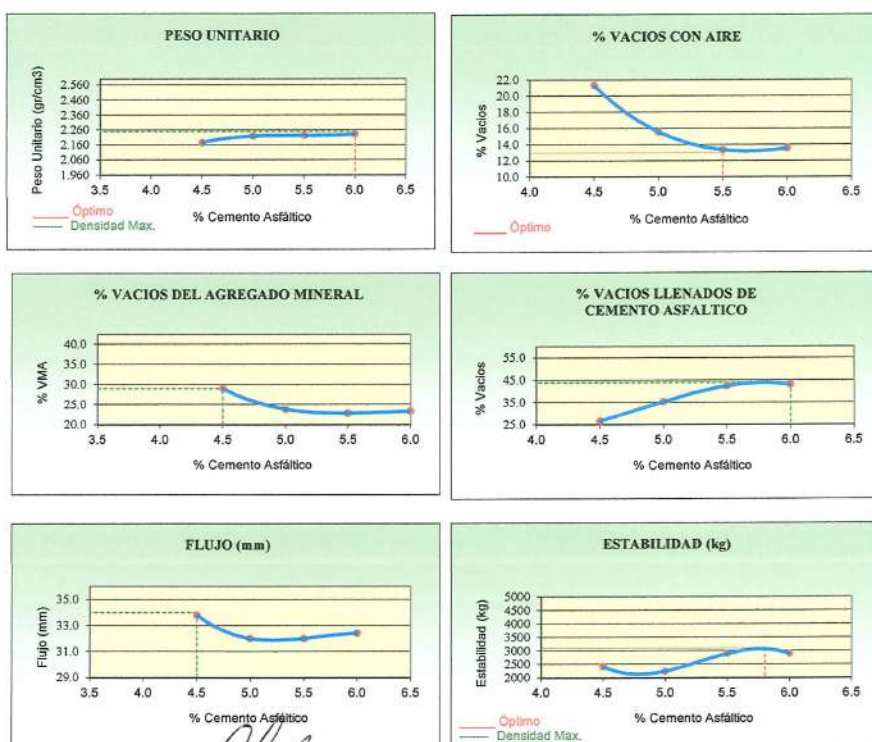


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica_60%Cal - 40% Polvo de Desecho de Piedra Chancada
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado



Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.8
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.250
Vacios (%)	13.00
Vacios del Agregado mineral (%)	29.00
Vacios Llenados de C.A (%)	45.00
Flujo (mm)	32.00
Estabilidad (kg)	3090
Relación Polvo Asfalto	0.96

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad



Anexo 33: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada 4.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 4.5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de CA	67.5 4.8%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.78
B Arena	56.30	45.17
C Filler	1	14.05

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-38	8-17	4-8	

Mezcla	IVB
--------	-----

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	45.17	45.17	45.17	45.17	45.17
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc 1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc 2.637	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc 2.674	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc 2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc 2.567	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc 1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm. 5.74	5.87	5.73	5.86	5.9
13	Peso de la briqueta en el aire	gr. 1015.1	1017.2	1038.6	1060.1	1063.5
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr. 1031.39	1030.58	1050.5	1075.1	1087.9
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr. 551.0	547.27	572.7	562.9	596.0
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c. 480.39	483.31	477.8	492.2	491.9
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc 2.113	2.105	2.174	2.154	2.162
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc 2.747	2.747	2.747	2.747	2.747
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((12/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc 2.671	2.671	2.671	2.671	2.671
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 23.08	23.39	20.88	21.60	21.30
21	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-2/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc 2.862	2.862	2.862	2.862	2.862
22	Peso específico Aparente del agregado total 100-21/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc 2.907	2.907	2.907	2.907	2.907
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc 2.954	2.954	2.954	2.954	2.954
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-5(23-21)/23*21 (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	% 69.81	69.53	71.81	71.15	71.42
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	% 7.11	7.08	7.31	7.25	7.27
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 30.19	30.47	28.19	28.85	29.26
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	% 3.54	3.54	3.54	3.54	3.54
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	% 23.54	23.24	25.94	25.12	25.45
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 1684	1445	1900	2213	2160
31	Factor de estabilidad	1.14	1.09	1.14	1.09	1.09
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 1920	1575	2166	2412	2085
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul. 31	35	30	30	29
34	Fluencia	m.m. 7.87	8.89	7.62	7.62	7.37
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 2458	1772	2843	3166	2683

Henry Rivadeneira Obitas
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 Universidad Católica Santa Toribio de Mogrovejo

Anexo 34: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%

Peso de Muestra	1410
Peso de C.A.	75 5.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.57
B Arena	56.30	50.64
C Filler	1	8.80

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8

Mezcla	Especificaciones	Nº8

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.57	40.57	40.57	40.57	40.57
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	50.64	50.64	50.64	50.64	50.64
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm	5.54	5.45	6.36	6.3
13	Peso de la briqueta en el aire	gr	1019.9	1085	1146.0	1121.1
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr	1024.74	1094.66	1153.7	1129.6
15	Peso de la briqueta en el agua	gr	568.7	611.75	628.3	625.3
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c	456.03	482.91	525.3	494.3
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.236	2.247	2.181	2.268
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.573	2.573	2.573	2.573
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/5)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc	2.501	2.501	2.501	2.501
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	13.08	12.67	15.21	11.84
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	2.680	2.680	2.680	2.680
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.722	2.722	2.722	2.722
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/(13/P-8)+(4*P-10)	gr/cc	2.768	2.768	2.768	2.768
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.21	1.21	1.21	1.21
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%	78.49	78.85	76.56	79.60
26	% del volumen de asfalto efectiva / volumen de briqueta 100-(25+20)	%	8.44	8.48	8.23	8.56
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	21.51	21.15	23.44	20.40
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.89	3.89	3.89	3.89
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	39.22	40.08	35.10	41.96
30	Lectura del aro	pul	158	170	162	162
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	4045	3747	3343	4078
31	Factor de estabilidad		1.25	1.09	0.96	1.09
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	5056	4084	3209	4445
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.284)	pul	28	32	30	32
34	Fuercia	m.m.	7.11	8.13	7.62	7.62
35	Relación Estabilidad / Fuercia	m.m.	7809	5025	4212	5833

[Signature]
 Henry Rivas Beneyra Obilias
 Tercer Laboratorio USAT

[Signature]
 USAT
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES

Anexo 35: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T-245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 5.5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN: 60/70	

Peso de Muestra	1402.5
Peso de C.A	82.5
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.35
B Arena	56.30	46.59
C Filler	1	13.06

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briqueta	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.35	40.35	40.35	40.35	40.35	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	46.59	46.59	46.59	46.59	46.59	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	5.68	6.24	5.45	5.74	6.1	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1018.6	1162.4	1084.0	1062.8	1089.5	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1026.13	1170.13	1090.6	1059.7	1099.6	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	568.7	658.2	605.8	597.4	612.5	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	457.44	511.93	484.8	462.3	487.1	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.227	2.271	2.236	2.299	2.237	2.254
18	Peso específico técnico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.646	2.646	2.646	2.646	2.646	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2/(7+8))+4*2/(9+10))	gr/cc	2.577	2.577	2.577	2.577	2.577	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18)	%	15.83	14.17	15.49	13.09	15.45	14.81
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	2.799	2.799	2.799	2.799	2.799	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.843	2.843	2.843	2.843	2.843	
23	Peso específico efectivo del agregado total (9-4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc	2.885	2.885	2.885	2.885	2.885	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3-4)*17/21	%	74.44	75.91	74.74	76.86	74.77	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-25+20	%	9.73	9.92	9.77	10.05	9.78	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	25.56	24.09	25.26	23.14	25.23	24.66
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	38.07	41.19	38.69	43.42	38.75	40.02
30	Lectura del arco.	pul.	158	170	162	162	162	
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2743	3102	2902	2729	2980	
31	Factor de estabilidad		1.19	1.00	1.09	1.19	1.09	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3264	3102	3163	3248	3248	3205
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	30	30	31	30	32	31
34	Fluencia	m.m.	7.62	7.62	7.87	7.62	8.13	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.g.	4284	4071	4017	4262	3996	4126

Héctor Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT Universidad Católica



Anexo 36: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _6% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas
 MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 6% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395
Peso de C.A	90 6.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.14
B Arena	56.30	36.00
C Filler	1	23.86

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8

Mezcla	Especificaciones IVB
--------	----------------------

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm	6.17	5.23	6.03	6.51
13	Peso de la briqueta en el aire	gr	1132	964.9	1092.5	1178.0
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr	1139.49	973.38	1096.5	1192.2
15	Peso de la briqueta en el agua	gr	655.0	465.2	625.8	680.9
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c	484.48	508.18	472.7	511.3
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.337	1.899	2.311	2.304
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.947	2.947	2.947	2.947
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3/2) + (7/8) + (4/2) + (9/10))$	gr/cc	2.851	2.851	2.851	2.851
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	20.71	35.57	21.58	21.82
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc	3.186	3.186	3.186	3.186
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc	3.237	3.237	3.237	3.237
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4/P - 10))$	gr/cc	3.315	3.315	3.315	3.315
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.25	1.25	1.25	1.25
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17/21$	%	68.24	55.45	67.50	67.29
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	11.05	8.98	10.93	10.89
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	31.76	44.55	32.50	32.71
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	5.05	5.05	5.05	5.05
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	34.78	20.15	33.61	33.29
30	Lectura del aro	pul	158	170	162	162
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3324	3083	3919	3850
31	Factor de estabilidad		1.09	1.04	1.14	1.00
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3623	3206	4468	3850
33	Lectura del flexímetro $(0.01) * (35 / 0.254)$	pul	27	30	34	34
34	Fluencia	m.m.	6.86	7.62	8.64	8.64
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	5283	4208	5175	4458

Henry Ribadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo 37: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2608	2636	2648	2508
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2062	2053	2081	1999
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3562.0	3553.0	3581.0	3499.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	546	583	567	509
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.747	2.573	2.646	2.947


Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



USAT
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS

TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 38: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 50% Cal – 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada

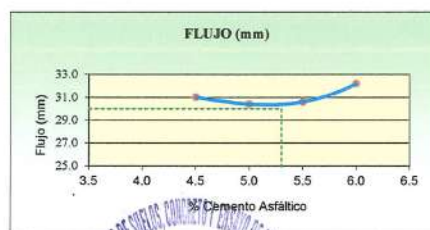
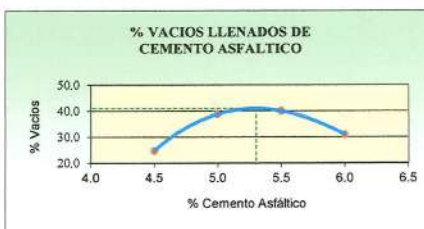
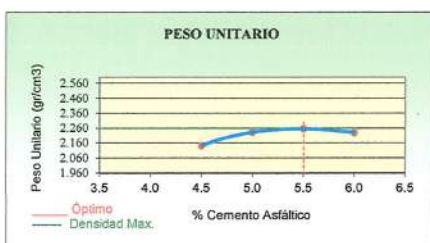


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica_50%Cal - 50% Polvo de Desecho de Piedra Chancada
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

TÉCNICO DE LABORATORIO
 Henry Rivasdenogra Oblitas
 USAT

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.2
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.260
Vacios (%)	13.00
Vacios del Agregado mineral (%)	22.00
Vacios Llenados de C.A (%)	41.00
Flujo (mm)	7.62
Estabilidad (Kg)	4290
Relación Polvo Asfalto	0.87

Anexo 39: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada 4.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 4.5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de CA	67.5 4.5%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.78
B Arena	56.30	38.49
C Filler	1	20.74

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
	100	80 - 100	70 - 85	31 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla	IVB
Especificaciones	IVB

	#	1	2	3	4	5	Prom.
1 Número de briquetas							
2 C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	38.49	38.49	38.49	38.49	38.49	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12 Altura promedio de la briketa	cm.	5.65	5.98	6.04	5.94	5.9	
13 Peso de la briketa en el aire	gr.	1000.8	1019.8	1074.4	1054.0	1052.6	
14 Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr.	1014.68	1054.96	1089.0	1067.0	1062.6	
15 Peso de la briketa en el agua 25 °C	gr.	539.9	560.26	585.6	583.1	575.6	
16 Volumen de la briketa 14-15	c.c.	474.83	494.7	503.4	483.9	487.0	
17 Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.108	2.061	2.134	2.178	2.161	2.129
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.982	2.982	2.982	2.982	2.982	
19 Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/5)+(3*2)/(7*8)+(4*2)/(9*10))	gr/cc	2.872	2.872	2.872	2.872	2.872	
20 % de vacios con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	29.32	30.87	28.42	26.96	27.52	28.62
21 Peso específico Bulk del Agregado Total 100-21/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	3.108	3.108	3.108	3.108	3.108	
22 Peso específico Aparente del agregado total 100-21/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	3.158	3.158	3.158	3.158	3.158	
23 Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc	3.245	3.245	3.245	3.245	3.245	
24 Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21	%	64.12	62.71	64.93	66.26	65.75	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa 100-(25+20)	%	6.56	6.42	6.65	6.78	6.73	
27 % vacios del agregado mineral 100-25	%	35.88	37.29	35.07	33.74	34.25	35.25
28 Asfalto efectiva / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	
29 Relación betún vacios (26/27)*100	%	18.29	17.21	18.95	20.10	19.65	18.84
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1493	674	1751	2383	2650	
31 Factor de estabilidad		1.14	1.09	1.04	1.09	1.09	
32 Estabilidad corregida 31*32	kg	1702	735	1821	2597	2889	1949
33 Lectura del Flexímetro (0.01") (32*10.284)	pul.	35	35	34	35	36	35
34 Fluencia	m.m.	8.89	8.89	8.64	8.89	9.14	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1915	826	2109	2922	3159	2185

Henry Rivadeneira Obitas
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo 40: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como hiller para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410
Peso de C.A	75 5.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.57
B Arena	56.30	45.89
C Filler	1	13.55

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
 Especificaciones IVB

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.57	40.57	40.57	40.57	40.57
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	45.89	45.89	45.89	45.89	45.89
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.637	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.674	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.567	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm. 6.21	6.11	5.28	6.26	6.1
13	Peso de la briqueta en el aire	gr. 1115.1	1110.7	924.7	1176.1	1165.9
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr. 1123.66	1120.84	942.0	1184.1	1176.9
15	Peso de la briqueta en el agua	gr. 603.8	611.78	465.0	651.0	675.0
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c. 519.91	509.06	477.0	533.1	501.9
17	Peso unitario de la briqueta 13/15 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.145	2.182	1.939	2.206	2.323
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.717	2.717	2.717	2.717	2.717
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3/2)+(7/8)+(4/2)+(9/10))	gr/cc. 2.623	2.623	2.623	2.623	2.623
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 21.07	19.71	28.66	18.82	14.51
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-21)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc. 2.830	2.830	2.830	2.830	2.830
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc. 2.875	2.875	2.875	2.875	2.875
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc. 2.947	2.947	2.947	2.947	2.947
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 1.44	1.44	1.44	1.44	1.44
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	% 71.28	72.51	64.43	73.32	77.20
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	% 7.65	7.78	6.91	7.87	8.28
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 28.72	27.49	35.57	26.68	22.80
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	% 3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	% 26.63	28.30	19.43	29.48	36.33
30	Lectura del oro.	pul. 158	170	162	162	162
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 2134	2264	1289	2742	2769
31	Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.14	0.96	1.04
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 2134	2264	1469	2632	2880
33	Lectura del flexímetro (0.01" (35/ 0.254)	pul. 34	33	30	31	33
34	Fluencia	m/m 8.64	8.38	7.62	7.87	8.89
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m/m. 2471	2701	1928	3343	3239

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES
 USAT

Anexo 41: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _5.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 5.5% CA
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5
Peso de CA	82.5 5.9%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.35
B Arena	56.30	49.42
C Filler	1	10.23

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	
Especificaciones IVB	

1	Número de briketa	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.35	40.35	40.35	40.35	40.35	40.35
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	49.42	49.42	49.42	49.42	49.42	49.42
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briketa	cm.	6.67	5.8	5.77	6.37	6.25	
13	Peso de la briketa en el aire	gr.	1095.5	1060.4	146.8	1106.6	1145.6	
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr.	1106.36	1071.41	1054.3	1114.6	1156.9	
15	Peso de la briketa en el agua	gr.	605.8	586.6	578.7	612.5	625.6	
16	Volumen de la briketa 14-15	c.c.	500.57	484.81	475.5	502.1	531.3	
17	Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.189	2.187	0.309	2.204	2.156	1.809
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2/(7+8)+(4*2/(9+10)))	gr/cc.	2.505	2.505	2.505	2.505	2.505	2.505
20	% de vacios con aire 100*(1-17/18)	%	15.23	15.28	88.04	14.63	16.48	29.93
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3-4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc.	2.805	2.805	2.805	2.805	2.805	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21	%	75.59	75.55	10.66	76.12	74.47	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa 100-25+20	%	9.18	9.17	1.29	9.24	9.04	
27	% vacios del agregado mineral 100-25	%	24.41	24.45	89.34	23.88	25.53	37.52
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	
29	Relación betún vacios (26/27)*100	%	37.60	37.51	1.45	38.71	35.43	30.14
30	Lectura del oro.	pul.	158	170	162	162	162	
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2618	2200	2512	2905	3260	
31	Factor de estabilidad		1.04	1.09	1.14	1.04	0.96	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2723	2398	2864	3021	3130	2827
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 (0.254)	pul.	35	34	32	32	36	34
34	Fluencia	m.m.	8.89	8.64	8.13	8.13	9.14	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3068	2777	3523	3717	3423	3300

Herney Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 42: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _6% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T-245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas
 MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 6% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395
Peso de C.A	90 6.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.14
B Arena	56.30	45.40
C Filler	1	14.46

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8

Mezcla	
Especificaciones IVB	

#	1	2	3	4	5	Prom.		
1	Número de briqueta	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	45.40	45.40	45.40	45.40	45.40	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	4.9	5.83	6.26	6.24	6.1	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	905.1	1102.7	1097.8	1164.4	1168.5	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	912.98	1109.57	1101.6	1168.4	1176.8	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	468.5	630.58	631.0	688.1	695.0	
16	Volumen de la briqueta 14-15	cc.	444.46	478.99	470.6	480.3	481.8	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.036	2.302	2.333	2.424	2.425	2.304
18	Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3/2)+(7/8)+(4/2)/(9+10))	gr/cc.	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18)	%	23.84	13.90	12.75	9.32	9.29	13.82
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.830	2.830	2.830	2.830	2.830	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.875	2.875	2.875	2.875	2.875	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4/P-10))	gr/cc.	2.951	2.951	2.951	2.951	2.951	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%	66.97	75.71	76.71	79.73	79.76	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-25	%	9.19	10.39	10.53	10.95	10.95	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	33.03	24.29	23.29	20.27	20.24	24.23
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*3+4	%	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	27.83	42.78	45.23	54.00	54.09	44.79
30	Lectura del ara.	pal.	158	170	162	162	162	
31	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2292	2762	2990	3310	3265	
32	Factor de estabilidad		1.25	1.14	1.14	1.14	1.14	
33	Estabilidad corregida 31*32	kg	2865	3149	3409	3773	3722	3384
34	Lectura del flexímetro (0.07) (35 / 0.254)	pal.	30	32	34	35	34	33
35	Fluencia	m.m.	7.62	8.13	8.64	8.89	8.64	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3759.8	3874	3947	4245	4310	4027

Henry Rivadeneyra



Anexo 43: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2621	2655	2733	2599
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2118	2103	2152	2038
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3618.0	3603.0	3652.0	3538.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	503	552	581	561
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.982	2.717	2.582	2.674


Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT Universidad Católica


TECNICO DE LABORATORIO

Anexo 44: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 40% Cal – 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada

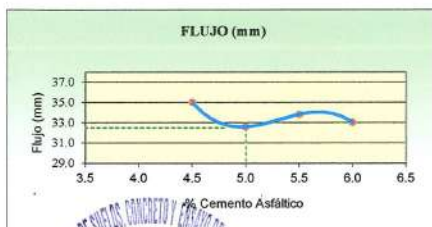
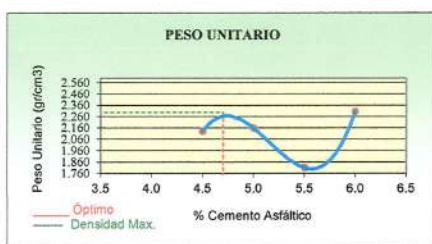


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica 40%Cal - 60% Polvo de Desecho de Piedra Chancada
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado



USAT
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

 TÉCNICO DE LABORATORIO
 Henry Riquelme

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.5
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.300
Vacios (%)	15.00
Vacios del Agregado mineral (%)	38.00
Vacios Llenados de C.A (%)	47.00
Flujo (mm)	8.26
Estabilidad (Kg)	3400
Relación Polvo Asfalto	0.92

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

Anexo 45: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada 4.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 4.5% CA
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de CA	67.5
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.78
B Arena	56.30	38.49
C Filler	1	20.74

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

Mezcla	IVB
Especificaciones	IVB

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	38.49	38.49	38.49	38.49	38.49
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	6.3	5.32	6.41	6.25	6.1
13	Peso de la briqueta en el aire	1112.1	956.7	1167.7	1133.9	1135.6
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1120.37	966.1	1185.6	1142.2	1146.5
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	614.7	515.3	648.0	628.6	635.5
16	Volumen de la briqueta 14-15	505.69	450.8	537.6	513.7	511.0
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	2.199	2.122	2.172	2.207	2.222
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	2.947	2.947	2.947	2.947	2.947
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	2.872	2.872	2.872	2.872	2.872
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	25.37	27.99	26.29	25.10	24.59
21	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-2/((3/7)+(4/9)+(5/11))	3.108	3.108	3.108	3.108	3.108
22	Peso específico Aparente del agregado total 100-2/((3/8)+(4/10)+(5/11))	3.158	3.158	3.158	3.158	3.158
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	3.201	3.201	3.201	3.201	3.201
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-5/(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	66.90	64.56	66.08	67.15	67.60
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	7.72	7.46	7.63	7.76	7.81
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	33.10	35.44	33.92	32.85	32.40
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	23.34	21.04	22.50	23.61	24.10
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	3995	3864	3896	3638	3690
31	Factor de estabilidad	1.04	1.25	0.93	1.00	1.00
32	Estabilidad corregida 31*32	4155	4830	3623	3638	3690
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	31	30	30	31	32
34	Fluencia	7.87	7.62	7.62	7.87	8.13
35	Relación Estabilidad / Fluencia	5277	6339	4755	4620	4540

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



Anexo 46: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como hiller para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 40/70	

Peso de Muestra	1410
Peso de C.A	75 5.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.57
B Arena	56.30	52.54
C Filler	1	6.90

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8

Mezcla	IVB
--------	-----

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briquea					
2	C.A. en peso de la mezcla	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.57	40.57	40.57	40.57	40.57
4	% de arenas combinados en peso de mezcla (menor #4)	52.54	52.54	52.54	52.54	52.54
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.637	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.674	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.567	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briquea	cm. 5.96	5.95	5.76	6.23	6.3
13	Peso de la briquea en el aire	gr. 1027.9	1059.2	1027.1	1127.3	1128.9
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr. 1042.62	1074.2	1042.7	1139.5	1141.5
15	Peso de la briquea en el agua	gr. 551.1	584.9	568.4	624.8	635.6
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c. 491.49	489.3	474.3	514.7	505.9
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.091	2.165	2.166	2.190	2.231
18	Peso específico teórico máximo (Ries) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.534	2.534	2.534	2.534	2.534
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7*8)+(4*2)/(9*10))	gr/cc. 2.455	2.455	2.455	2.455	2.455
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 17.46	14.57	14.53	13.56	11.93
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc. 2.624	2.624	2.624	2.624	2.624
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc. 2.666	2.666	2.666	2.666	2.666
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc. 2.720	2.720	2.720	2.720	2.720
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briquea (3+4)*17/21	% 74.95	77.58	77.61	78.49	79.97
26	% del volumen de asfalto efectiva / volumen de briquea 100-(25+20)	% 7.59	7.86	7.86	7.95	8.10
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 25.05	22.42	22.39	21.51	20.03
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla 2-(24/100)*(3+4)	% 3.73	3.73	3.73	3.73	3.73
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	% 90.90	95.04	95.09	96.96	40.43
30	Lectura del oro	pul. 158	170	162	162	162
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 1670	1954	2005	2539	2690
31	Factor de estabilidad	1.09	1.09	1.14	1.00	1.04
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 1820	2130	2286	2539	2798
33	Lectura del flexímetro (0.01"/0.254)	pul. 34	33	30	31	32
34	Fluencia	m.m. 8.64	8.38	7.62	7.87	8.38
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 2108	2541	3000	3225	3338

Henry Rivadeneira



Anexo 47: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _5.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 5.5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5
Peso de CA	82.5 5.9%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.35
B Arena	56.30	52.26
C Filler	1	7.39

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0	
100	90 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	IVB
--------	-----

#	Descripción	1	2	3	4	5	Prom.	
1	Número de briqueta							
2	C.A. en peso de la mezcla	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5		
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.35	40.35	40.35	40.35	40.35		
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	52.26	52.26	52.26	52.26	52.26		
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% paso malla #200)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95		
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023		
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 205)	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637		
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656	
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543		
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555	
11	Peso específico aparente del filler	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47		
12	Altura promedio de la briqueta	6.1	6.28	5.95	5.63	5.8		
13	Peso de la briqueta en el aire	1091.7	1134.8	1040.6	995.8	986.5		
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1159	1142	1096.6	1014.4	996.5		
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	617.2	654.39	616.3	560.7	550.0		
16	Volumen de la briqueta 14-15	541.77	487.61	480.0	453.7	446.5		
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2728, MTC E 514)	2.015	2.327	2.168	2.195	2.209	2.183	
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	2.492	2.492	2.492	2.492	2.492		
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	2.438	2.438	2.438	2.438	2.438		
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	19.13	6.60	13.00	11.91	11.33	12.39	
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((13/7)+(4/9)+(5/11))	2.624	2.624	2.624	2.624	2.624		
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((13/8)+(4/10)+(5/11))	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666		
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((13/P-8)+(4*P-10))	2.692	2.692	2.692	2.692	2.692		
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/23*21 (ASTM D 4469, MTC E 511)	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98		
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	71.83	82.96	77.28	78.24	78.76		
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	9.04	10.44	9.72	9.84	9.91		
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	28.17	17.04	22.72	21.76	21.24	22.18	
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60		
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	32.08	61.26	42.79	45.24	46.65	45.61	
30	Lectura del oro.	pul.	158	170	162	162		
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2626	2785	2622	1790	2650	
31	Factor de estabilidad		0.93	1.09	1.14	1.25	1.25	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2442	3036	2989	2238	3313	2803
33	Lectura del flexímetro (0.01") 85 / 0.254	pul.	32	34	32	28	29	31
34	Fluencia	m.m.	8.13	8.64	8.13	7.11	7.37	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3005	3515	3678	3146	4497	3568

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 48: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada _6% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas
MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 6% CA
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395
Peso de C.A	90 6.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.14
B Arena	56.30	45.40
C Filler	1	14.46

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla	
Especificaciones IVB	

	#	1	2	3	4	5	Prom.
1 Número de briqueta	%	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
2 C.A. en peso de la mezcla	%	40.14	40.14	40.14	40.14	40.14	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	45.40	45.40	45.40	45.40	45.40	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc	5.54	5.83	5.99	5.91	6.05	
12 Altura promedio de la briqueta	cm.	981.7	1064.7	1097.1	1087.3	1110.5	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	988.79	1073.27	1102.4	1091.6	1118.5	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	542.2	605.42	626.3	620.2	628.5	
15 Peso de la briqueta en el agua	gr.	446.59	467.85	476.2	471.4	495.0	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	2.200	2.276	2.904	2.307	2.243	2.266
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.988	2.988	2.988	2.988	2.988	
18 Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	
19 Máxima densidad teórica de las agregadas $100 / ((2/6) + (3/2) + (7/8) + (4/2) + (9/10))$	gr/cc	26.36	23.84	22.90	22.80	24.92	24.16
20 % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.830	2.830	2.830	2.830	2.830	
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc	2.875	2.875	2.875	2.875	2.875	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc	3.372	3.372	3.372	3.372	3.372	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4/P - 10))$	gr/cc	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	72.36	74.84	75.76	75.86	73.78	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17/21$	%	1.28	1.32	1.34	1.34	1.31	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100 - (25 + 20)	%	27.64	25.16	24.24	24.14	26.22	25.48
27 % vacíos del agregado mineral 100 - 25	%	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	4.63	5.26	5.53	5.56	4.98	5.19
29 Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	158	170	162	162	162	
30 Lectura del ara.	puł.	1996	2364	2642	2732	2950	
31 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1.25	1.19	1.14	1.14	1.04	
32 Factor de estabilidad	kg	2495	2813	3012	3114	3068	2901
33 Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	32	31	32	33	31	32
34 Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.25)	mm	8.13	7.87	8.13	8.38	7.87	
35 Fluencia	mm	3070	3573	3706	3716	3896	3592
36 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.						

Henry Rivadeneira



Anexo 49: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2581	2658	2710	2584
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2072	2066	2108	2082
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3572.0	3566.0	3608.0	3582.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	509	592	602	502
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.947	2.534	2.492	2.988


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



USAT
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS

TECNICO DE LABORATORIO

Anexo 50: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 20% Cal – 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada

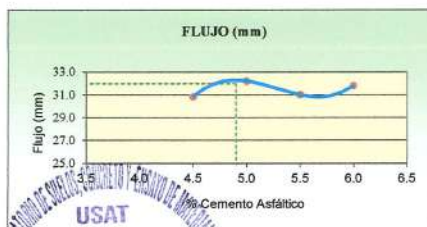
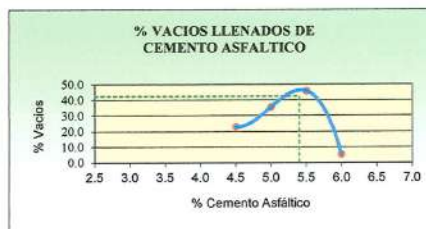
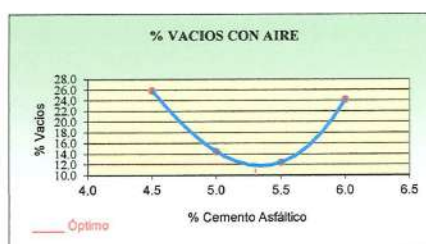
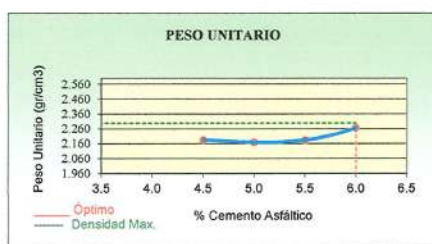


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica_20%Cal - 80% Polvo de Desecho de Piedra Chancada
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado



TECNICO DE LABORATORIO

RESULTADOS	
Optimo Contenido C.A	5.3
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.300
Vacios (%)	12.20
Vacios del Agregado mineral (%)	22.00
Vacios Llenados de C.A (%)	42.00
Flujo (mm)	8.13
Estabilidad (Kg)	4000
Relación Polvo Asfalto	0.87

Nota: El Optimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad

Henry Rivasneve Obllitas
 USAT

Anexo 51: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada 4.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOESIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 4.5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de CA	67.5 4.5%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.78
B Arena	56.30	51.86
C Filler	1	7.37

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	86-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briqueita	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78	40.78
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.86	51.86	51.86	51.86	51.86	51.86
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM D 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueita	cm.	6.219	6.13	5.65	5.72	6.1	
13	Peso de la briqueita en el aire	gr.	1115	1069.2	1022.0	1022.6	1011.6	
14	Peso de la briqueita saturada superficialmente seca	gr.	1128.69	1084.26	1033.1	1030.8	1025.6	
15	Peso de la briqueita en el agua 25 °C	gr.	683.1	606.3	557.2	585.3	615.0	
16	Volumen de la briqueita 14-15	cc.	445.64	477.96	476.0	445.5	410.6	
17	Peso unitario de la briqueita 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.502	2.737	2.147	2.295	2.464	2.329
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.525	2.525	2.525	2.525	2.525	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((12/5) + (3*2) / (7+8) + (4*2) / (9+10))$	gr/cc	2.497	2.497	2.497	2.497	2.497	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	0.92	11.41	14.97	9.10	2.44	7.77
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((13/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((13/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc	2.694	2.694	2.694	2.694	2.694	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((13/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc	2.686	2.686	2.686	2.686	2.686	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21) / (23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueita $(3+4) / (7*21)$	%	89.20	79.75	76.55	81.84	87.84	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueita $100-(25+20)$	%	9.88	8.83	8.48	9.06	9.73	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	10.80	20.25	23.45	18.16	12.16	16.96
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05	
29	Relación betún vacíos $(28/27) * 100$	%	91.48	48.62	96.15	49.89	79.96	60.22
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2714	1871	2214	2623	2789	
31	Factor de estabilidad		1.25	1.14	1.14	1.25	1.01	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	3395	2133	2524	3279	2817	2829
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pu.	35	34	31	31	32	32
34	Fluencia	m.m.	8.38	8.64	7.87	7.87	8.13	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4047	2470	3205	4164	3466	3470

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo 52: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada_5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T-245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
 ENSAYO : Mezcla Asfáltica - 5% CA
 CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410
Peso de CA	75 5.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.57
B Arena	56.30	51.59
C Filler	1	7.85

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0
100	80-100	70-88	51-88	38-52	17-28	8-17	4-8

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briqueeta					
2	C.A. en peso de la mezcla	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	40.57	40.57	40.57	40.57	40.57
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	51.59	51.59	51.59	51.59	51.59
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.637	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.674	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena (#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena (#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.567	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueeta	cm. 5.57	6.1	6.08	6.18	6.2
13	Peso de la briqueeta en el aire	gr. 1022	1132.2	1117.2	1140.1	1145.6
14	Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr. 1025.74	1142.64	1125.5	1148.5	1156.2
15	Peso de la briqueeta en el agua	gr. 576.8	643.74	632.3	647.6	658.0
16	Volumen de la briqueeta 14-15	cc. 448.95	498.9	498.2	500.9	498.2
17	Peso unitario de la briqueeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.276	2.269	2.265	2.276	2.277
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/8)+(3/2)+(7+8)+(4/2)/(9+10))	gr/cc. 2.478	2.478	2.478	2.478	2.478
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 5203, MTC E 505)	% 9.09	9.38	9.54	9.11	8.17
21	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-2/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc. 2.652	2.652	2.652	2.652	2.652
22	Peso específico Aparente del agregado total 100-2/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc. 2.694	2.694	2.694	2.694	2.694
23	Peso específico efectivo del agregado total 3+4/((3/7)-(8)+(4/9)-(10))	gr/cc. 2.684	2.684	2.684	2.684	2.684
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta (3+4)*17/21	% 80.73	80.49	80.34	80.73	81.55
26	% del volumen de asfalto efectiva / volumen de briqueeta 100-(25+20)	% 10.17	10.14	10.12	10.17	10.27
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 19.27	19.51	19.66	19.27	18.45
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla 2-(24/100)*(3+4)	% 4.58	4.58	4.58	4.58	4.58
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	% 52.79	51.96	51.47	52.76	55.69
30	Lectura del oro.	pul. 158	170	162	162	162
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del enllo)	kg 3996	3758	3817	3849	3856
31	Factor de estabilidad	1.25	1.04	1.09	1.04	1.04
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 4995	3908	4161	4003	4010
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul. 32	32	31	31	36
34	Fluencia	m.m. 8.13	8.13	7.87	7.87	9.14
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 6145	4808	5284	5084	4386

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo 53: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada 5.5% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 5.5% CA
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN. 60/70	

Peso de Muestra	1402.5
Peso de CA	82.5 5.9%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.35
B Arena	56.30	50.37
C Filler	1	9.28

% Que Pasa el Tamiz						
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17
						4-8

Mezcla	
Especificaciones IVB	

1	Número de briqueata	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.35	40.35	40.35	40.35	40.35	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	50.37	50.37	50.37	50.37	50.37	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.637	2.637	2.637	2.637	2.637	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.674	2.674	2.674	2.674	2.674	2.656
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.555
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueata	cm.	6.06	5.9	5.69	5.54	5.63	
13	Peso de la briqueata en el aire	gr.	988.5	1023.8	978.3	983.0	995.6	
14	Peso de la briqueata saturada superficialmente seca	gr.	994.78	1030.49	990.8	997.7	1003.6	
15	Peso de la briqueata en el agua 25 °C	gr.	532.8	551.92	543.9	548.1	524.6	
16	Volumen de la briqueata 14-15	c.c.	462.03	478.57	447.0	449.7	479.0	
17	Peso unitario de la briqueata 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.139	2.139	2.189	2.186	2.078	2.146
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.508	2.508	2.508	2.508	2.508	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/5) + (3/2) + (7/8) + (4/2) + (9/10))$	gr/cc.	2.482	2.482	2.482	2.482	2.482	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	14.68	14.69	12.72	12.83	17.11	14.41
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.680	2.680	2.680	2.680	2.680	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.722	2.722	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4/P - 10))$	gr/cc.	2.712	2.712	2.712	2.712	2.712	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueata $(3 + 4) * 17 / 21$	%	74.69	74.68	76.41	76.31	72.56	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueata $100 - (25 + 20)$	%	10.63	10.63	10.88	10.86	10.33	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	25.31	25.32	23.59	23.69	27.44	25.07
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	42.00	41.98	46.09	45.85	37.63	42.71
30	Lectura del arco.	pul.	158	170	162	162	162	
30	Estabilidad sin corregir (tablo de calibración del anillo)	kg	2613	2809	2506	3540	3465	
31	Factor de estabilidad		1.19	1.14	1.25	1.25	1.14	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	3109	3202	3133	4425	3950	3564
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	28	25	24	26	29	26
34	Fluencia	mm.	7.11	6.35	6.10	6.60	7.37	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	mm/pul.	4372	5043	5139	6700	5363	5323

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT Universidad Católica



Anexo 54: Informe de Laboratorio Método Marshall – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada 6% CA



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 / AASHTO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
MATERIAL: : Mezcla Asfáltica - 6% CA
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

Grava Chancada 3/4"	49%
Arena	50%
Cal (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1895
Peso de CA	90 6.0%
Peso de Cal	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

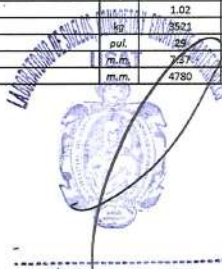
Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	42.70	40.14
B Arena	56.30	51.98
C Filler	1	7.88

Mezcla	
Especificaciones IVB	

% Que Paso el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.8	70.5	57.3	44.9	15.8	9.1	6.0	
100	80-100	70-88	51-68	38-51	17-38	8-17	4-8	

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briketa	%				
2	CA. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	6.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	40.14	40.14	40.14	40.14
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	%	51.98	51.98	51.98	51.98
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.94	0.94	0.94	0.94
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.637	2.637	2.637	2.637
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.674	2.674	2.674	2.674
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.543	2.543	2.543	2.543
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.567	2.567	2.567	2.567
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briketa	cm.	5.31	5.79	6.66	6.07
13	Peso de la briketa en el aire	gr.	995.2	1067.1	1134.2	1152.7
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr.	998.43	1070.94	1138.4	1157.5
15	Peso de la briketa en el agua	gr.	564.2	612.48	649.7	658.4
16	Volumen de la briketa 14-15	c.c.	434.24	458.46	488.8	499.1
17	Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.292	2.328	2.321	2.309
18	Peso específico teórico máxima (Rica) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.455	2.455	2.455	2.455
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc	2.420	2.420	2.420	2.420
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	6.65	5.19	5.48	5.93
21	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	2.624	2.624	2.624	2.624
22	Peso específico Aparente del agregado total 100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.666	2.666	2.666	2.666
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4) /((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc	2.669	2.669	2.669	2.669
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.65	0.65	0.65	0.65
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21	%	81.27	82.54	82.29	81.89
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa 100-(25+20)	%	12.08	12.27	12.24	12.18
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.73	17.46	17.71	18.11
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	5.40	5.40	5.40	5.40
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	64.52	70.28	69.09	67.25
30	Lectura del aro.	pul.	158	170	162	162
31	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3452	3670	4117	4092
32	Factor de estabilidad		1.02	1.19	1.09	1.04
33	Estabilidad corregida 31*32	kg	3521	4367	4488	4256
34	Lectura del flexímetro (0,01") (35 / 0,254)	pul.	26	29	31	32
35	Fluencia	m.m.	7.57	7.37	7.87	8.13
36	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4780	5929	5699	5236

Henry Rivadeneira Oblitas
Téc. Laboratorio USAT



*Anexo 55: Informe de Laboratorio Ensayo Gravedad Específica Rice – MAC Modificada
100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada*



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D-2041

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2645	2625	2635	2640
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2051	2026	2113	2029
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3551.0	3526.0	3422.0	3529.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1309	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	594	599	522	611
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.525	2.504	2.508	2.455


Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



USAT
LABORATORIO DE ENSAYOS, GEOTECNIA Y DISEÑO DE AUTOPISTAS

TECNICO DE LABORATORIO

Anexo 56: Informe de Laboratorio Representación Gráfica de Diseño Asfáltico – MAC Modificada 100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada

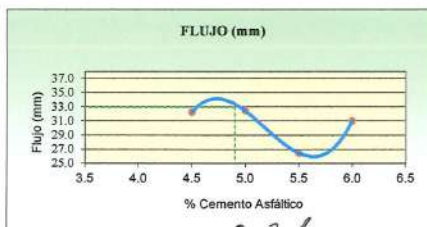
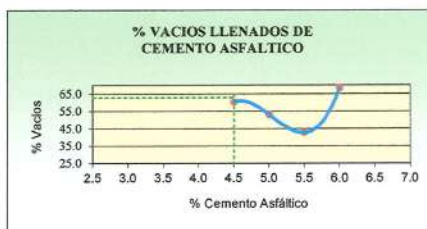
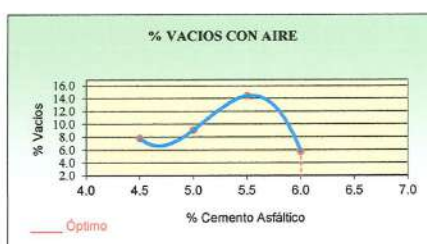
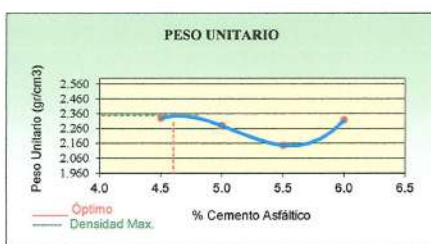


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYO DE MATERIALES



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del polvo de desecho de piedra chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
ENSAYO : Mezcla Asfáltica_100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada
CANTERA : La Victoria - Pátapo / Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Eric Anderson Quispe Delgado



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.0
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.350
Vacios (%)	5.80
Vacios del Agregado mineral (%)	24.80
Vacios Llenados de C.A (%)	65.00
Flujo (mm)	8.38
Estabilidad (Kg)	4260
Relación Polvo Asfalto	0.84

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad

Anexo 57: Informe de Laboratorio – Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste para Mezclas Bituminosas



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS BITUMINOSAS
MTC E 515

TESIS	: Influencia del polvo de desecho de piedras chancada usado como filler para la durabilidad de mezclas asfálticas
MATERIAL	: Mezcla Asfáltica en Caliente
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
	: Pátapo - La Victoria
TESISTA	: Eric Anderson Quispe Delgado

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL

Grava Chancada 1/2"	49%
Arena Chancada 1/4"	50%
Filler Cal	1%
Polvo de Desecho de Piedra Chancada	0%

CEMENTO ASFALTICO PEN 69/70

DATOS DE DISEÑO MODIFICADO

Grava Chancada 1/2"	49%
Arena Chancada 1/4"	50%
(Filler)	1%
Polvo de Desecho de Piedra Chancada	100%

CEMENTO ASFALTICO PEN 69/70

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS BITUMINOSAS

N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	100% Cal	300	1112.40	1018.9	8.41%	9.56%
2	CONVENCIONAL		300	1188.50	1111.5	5.48%	
3	CONVENCIONAL		300	1110.20	1010.5	8.98%	
4	CONVENCIONAL		300	1105.40	1008	8.99%	
5	CONVENCIONAL		300	1081.30	915.8	14.94%	
1	ADICIÓN	100% Polvo de Desecho de Piedra Chancada	300	1182.20	1094.1	7.45%	6.80%
2	ADICIÓN		300	1212.70	1146	5.50%	
3	ADICIÓN		300	1166.40	1076.3	7.72%	
4	ADICIÓN		300	834.40	782.9	6.17%	
5	ADICIÓN		300	1170.10	1086.3	7.16%	



LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO

NOTA:
El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25% a 25 °C
El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidos los probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 80°C, no podrá exceder del 40%

Henry Rivadeneyra Oblitas
Téc. Laboratorio USAT

Anexo 58: Informe de Laboratorio – Test de Lottman Modificado_MAC Convencional



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



[Handwritten Signature]
 Henry Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASHTO T 283)

CONVENCIONAL

MUESTRA		MUESTRAS ACODICIONADAS										MUESTRAS SECAS										
DATOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
D	Número de brújulas	10.15	10.15	10.17	10.18	10.16	10.19	10.20	10.20	10.21	10.21	10.19	10.20	10.20	10.21	10.21	10.21	10.21	10.21	10.21	10.21	10.21
E	Espejar	6.11	6.89	6.69	6.70	6.70	6.90	6.10	6.65	6.72	6.36	6.90	6.10	6.65	6.72	6.36	6.72	6.36	6.72	6.36	6.72	6.36
A	Peso de la muestra Seca al Aire	1017.9	1145.7	1131.1	1233.0	1145.6	1094.1	1086.6	1184.5	1175.5	1099.2	1094.1	1086.6	1184.5	1175.5	1099.2	1184.5	1175.5	1099.2	1184.5	1175.5	1099.2
B	SSD de la muestra	1065.00	1222.68	1201.70	1313.58	1210.50	1011.10	1096.50	1093.20	1186.30	1106.30	1011.10	1096.50	1093.20	1186.30	1106.30	1186.30	1106.30	1106.30	1186.30	1106.30	1106.30
C	Peso de la muestra en Agua	676.23	693.00	682.25	743.25	685.90	545.20	586.30	586.30	615.60	635.60	545.20	586.30	586.30	615.60	635.60	615.60	635.60	615.60	635.60	615.60	635.60
E	Volúmenes (B-C)	459.7	529.7	518.5	568.3	524.6	465.9	510.2	500.9	570.7	470.7	465.9	510.2	500.9	570.7	470.7	570.7	470.7	470.7	570.7	470.7	470.7
F	Peso específico Buñ de la brújula (A/E)	2.214	2.171	2.182	2.170	2.184	2.2	2.348	2.136	2.337	2.060	2.348	2.136	2.337	2.060	2.335	2.060	2.335	2.060	2.335	2.060	2.335
G	Peso específico teórico máximo (A/C)	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.9	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942
H	% de vacíos ((G - F)/G) * 100	24.73	26.30	25.84	26.35	25.77	25.8	20.18	27.41	26.56	28.99	20.18	27.41	26.56	28.99	26.02	29.42	26.02	29.42	26.02	29.42	26.02
I	Volúmenes de vacíos ((H - F)/100)	113.67	138.23	133.97	149.21	135.19	91.00	136.83	104.24	171.13	97.06	91.00	136.83	104.24	171.13	97.06	171.13	97.06	171.13	97.06	171.13	97.06

Muestra Seleccionada en Vacíos con 19 a 28% Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25°C		MUESTRAS ACODICIONADAS										MUESTRAS SECAS										
DATOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
B'	SSD de la muestra	1025.0	1159.5	1146.9	1245.6	1165.5	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00
C'	Peso de la muestra en Agua	560.00	675.00	670.00	666.00	662.00	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5
E'	Volúmenes de la muestra (B' - C')	465.0	584.5	576.9	579.6	576.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5
F'	Volúmenes de Agua de Absorción (B' - A')	7.1	13.8	14.8	17.6	19.9	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
G'	Solución (100/100)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
H'	hinchamiento (E' - F')/100%	2.16	1.29	1.44	1.63	1.70	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63

Muestra Seleccionada en Vacíos con 19 a 28% Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25°C		MUESTRAS ACODICIONADAS										MUESTRAS SECAS										
DATOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
B'	SSD de la muestra	1025.0	1159.5	1146.9	1245.6	1165.5	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00
C'	Peso de la muestra en Agua	560.00	675.00	670.00	666.00	662.00	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5
E'	Volúmenes de la muestra (B' - C')	465.0	584.5	576.9	579.6	576.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5
F'	Volúmenes de Agua de Absorción (B' - A')	7.1	13.8	14.8	17.6	19.9	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
G'	Solución (100/100)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
H'	hinchamiento (E' - F')/100%	2.16	1.29	1.44	1.63	1.70	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63

CONDICIONES DE SOLIDACION POR 24 Hrs. En Agua a 60°C. Índice de Máx. Prom.

CONDICIONES DE SOLIDACION POR 24 Hrs. En Agua a 60°C. Índice de Máx. Prom.		MUESTRAS ACODICIONADAS										MUESTRAS SECAS										
DATOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
A	Espejar	6.11	6.89	6.69	6.70	6.70	6.90	6.10	6.65	6.72	6.36	6.90	6.10	6.65	6.72	6.36	6.72	6.36	6.72	6.36	6.72	6.36
B	SSD de la muestra	1163.00	1163.00	1163.00	1245.00	1245.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00	692.00
C	Peso de la muestra en Agua	560.00	675.00	670.00	666.00	662.00	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5	533.5
E	Volúmenes (B - C)	475.6	547.6	537.0	600.0	600.0	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5
F	Volúmenes de Agua de Absorción (B - A)	7.7	13.9	13.9	17.0	17.0	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
G	Solución (100/100)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
H	hinchamiento (E - F)/100%	3.03	1.73	1.73	3.33	3.33	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63
I	Volúmenes de vacíos ((H - F)/100)	104.100	137.600	137.600	155.000	155.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000
J	Peso teórico APA	2.18	2.55	2.57	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89

NOTA: El valor mínimo aceptado para TSR es de 60%.

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS

Anexo 59: Informe de Laboratorio – Test de Lottman Modificado_MAC Modificada



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASHTO T 283)

MUESTRA MODIFICADA

MUESTRA	DATOS	MUESTRAS ACORDIONADAS											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
D	Numero de Ingotada	10.17	10.17	10.17	10.16	10.17	10.17	10.17	10.20	10.20	10.20	10.20	Prom.
E	Espesor	6.56	6.7	6.65	6.80	6.78	6.54	6.70	6.29	6.66	6.70	6.70	Prom.
A	Peso de la muestra Seca al Aire	899.5	1125.9	1168.4	1248.6	1234.0	1158.6	1141.7	1072.9	1185.9	1202.2	1152.3	Prom.
B	SSD de la Muestra	559.60	1200.89	1262.44	1330.50	1318.41	1234.03	1220.65	1140.07	1265.58	1282.59	1211.02	Prom.
C	Peso de la Muestra en Agua	579.95	688.41	729.76	762.70	746.18	686.78	688.85	655.84	718.84	731.02	688.85	Prom.
F	Volumen (B - C)	473.7	512.5	537.7	567.8	572.2	547.2	532.9	483.2	545.7	551.6	527.7	Prom.
E	Peso específico Bulk de la Ingotada (A/E)	2.094	2.197	2.142	2.101	2.156	2.2	2.157	2.177	2.175	2.180	2.2	Prom.
G	Peso específico Técnico máximo (B/C)	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	Prom.
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	24.35	20.62	20.09	20.48	22.08	21.5	21.08	21.14	21.40	21.48	21.24	Prom.
I	Volumen de vacíos ((H-5)/100)	104.63	105.65	106.02	116.28	126.34	116.61	124.17	105.36	117.23	117.18	117.18	Prom.

Muestras Sumadas en Vacíos con 19.2.8% H ₂ O - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C					
B	SSD de la Muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
C	Peso de la muestra en Agua	719.91	746.57	751.00	731.06
E	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
F	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
G	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
H	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
I	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
J	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
K	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
L	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
M	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
N	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
O	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
P	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
Q	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
R	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
S	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
T	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
U	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
V	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
W	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
X	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
Y	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
Z	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
AA	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
AB	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
AC	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
AD	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
AE	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
AF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
AG	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
AH	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
AI	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
AJ	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
AK	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
AL	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
AM	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
AN	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
AO	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
AP	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
AQ	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
AR	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
AS	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
AT	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
AU	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
AV	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
AW	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
AX	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
AY	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
AZ	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BA	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BB	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BC	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BD	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BE	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1	1311.3	1310.1	1311.1
BF	Peso de la muestra en agua	719.91	746.57	751.00	731.06
BF	Volumen de la muestra (B - C)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	Volumen de la muestra en agua (B - A)	591.2	564.73	559.1	580.04
BF	SSD de la muestra	1311.1</			

Anexo 60: Informe de Laboratorio Ensayo Químico Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC:2060355189

REPORTE DE MEDICION Y ANALISIS DE MUESTRA POR EL ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL

SOLICITANTE	ERIC ANDERSON QUISPE DELGADO
TESIS	INFLUENCIA DEL POLVO DE DESECHO DE PIEDRA CHANCADA USADO COMO FILLER PARA LA DURABILIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
MUESTRA	DESECHO DE PIEDRA CHANCADA
FECHA	06 DE ABRIL DEL 2024

MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO

1. MUESTRA: Desecho de Piedra Chancada (500. GR)



N° DE MUESTRAS	CANTIDAD DE MUESTRA ENSAYADA	PROCEDENCIA
001	400 mg	

2. ENSAYOS A APLICAR:

- ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL-ATD
- ANALISIS TERMOGRAVIMETRICO-TG

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- ANALIZADOR TERMICO SIMULTANEO TG_DTA_DSC CAP. MAX 1600°C
- SETSYS_EVOLUTION; CUMPLE CON NORMAS ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- TASA DE CALENTAMIENTO: 20 °C/MIN
- GAS DE TRABAJO-FLUJO: NITROGENO, 10 ML/MIN
- RANGO DE TRABAJO 25-920°C.
- MASA DE MUESTRA ANALIZADA: 35 MG

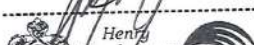



 TÉCNICO DE LABORATORIO

JEFE DE LABORATORIO: ING. CARLOS VALQUI MENDOZA
ANALISTA RESPONSABLE: ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

AGUAS – SUELOS – ALIMENTOS – MINERALES – ACEITES – CARBON – CAL

CELULAR: 944-077 288 – 949-959 632 **CORREO ELECTRÓNICO: Fqaperusac@gmail.com**



LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC:2060355189

4. RESULTADOS

c. CURVA TGA Y ATD

CURVA DE PÉRDIDA DE MASA-ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO



FQA PERÚ
LABORATORIO

4. CONCLUSIONES

Según el análisis Termo gravimétrico se muestra la descomposición térmica a través de la pérdida de masa en función a la temperatura indicado dos regiones donde se hace más intensa la pérdida, la primera en un rango entre 250 y 450°C y la segunda menos intensa entre 400 y 800°C, posteriormente la pérdida es gradual. El material llega a perder un aproximado de 1.5% de masa, respecto a su masa inicial a la temperatura máxima de ensayo.

TRUJILLO, 06 DE ABRIL DEL 2024

Henry
Fluadenebra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077-288 - 949 959 632

CORREO ELECTRÓNICO: Fqaপরুসac@gmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC:2060355189

REPORTE DE MEDICION Y ANALISIS DE MUESTRA POR EL ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL

SOLICITANTE	ERIC ANDERSON QUISPE DELGADO
TESIS	INFLUENCIA DEL POLVO DE DESECHO DE PIEDRA CHANCADA USADO COMO FILLER PARA LA DURABILIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
MUESTRA	DESECHO DE PIEDRA CHANCADA
FECHA	06 DE ABRIL DEL 2024

MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO.

1. CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES

El análisis se realizó en un espectrómetro de fluorescencia total de rayos x marca

BRUKER, MODELO S2-PICOFOX

Fuente de rayos x: Tubo de Mo.

Tiempo de medida: 2000 segundos.

ESTANDAR INTERNACIONAL PARA

CUANTIFICACIÓN: Elemento: Galio (Ga)

Concentración: g/l

2. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA ANALIZADA.

Se analizó 50 mg de la muestra de **DESECHO DE PIEDRA CHANCADA**, la cual fue tamizada previamente a malla a 200.

3. METODO

- **BASADO EN LA NORMA** : ASTM C25
- **VOLUMETRIA** : USAQ-ME06

JEFE DE LABORATORIO: ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

ANALISTA RESPONSABLE: ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077-288 - 949 959 632

CORREO ELECTRÓNICO: Fqaperusac@gmail.com



LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC:2060355189

4. RESULTADOS

COMPOSICION QUIMICA	RESULTADOS (%)	METODO UTILIZADO
CALCIO	45.36	Espectrometría de fluorescencia de rayos x
SILICIO	33.18	
ALUMINIO	7.3	
HIERRO	0.64	
SODIO	1.57	
MAGNESIO	0.20	
POTASIO	1.55	
PERDIDA POR QUEMADO	10.21	

FQA PERÚ

5. CONCLUSION

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del sodio, se encontraron principalmente Calcio, Silicio con un alto porcentaje. Y en menores porcentajes se encontró, Potasio, Magnesio, Sodio.

Henry Rivadeneyra Obiltras
 Tec. Laboratorio USAT



TRUJILLO, 06 DE ABRIL DEL 2024



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632

CORREO ELECTRONICO: Fqaperusac@gmail.com