

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

TESIS

**DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA
TIBIA CON ACEITE CRUDO DE PALMA**

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

Autores:

**Bach. Usquiano Tantaleán, Iván Alberto
Bach. Villarreal Guimarey, Juan Felipe Broth**

Asesor:

Ing. Ruiz Saavedra, Nepton David

Línea de Investigación:

Desarrollo de Nuevos Materiales

Pimentel- Perú

2016

TÍTULO DE LA TESIS

DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA CON ACEITE CRUDO DE PALMA

Aprobación de la tesis

Msc. Ing. Zuloaga Cachay, José Fortunato
Asesor Metodológico

Ing. Ruiz Saavedra, Nepton David
Asesor Especialista

Dr. Ing. Coronado Zuloeta, Omar
Presidente del Jurado de Tesis

Ing. Borja Suárez, Manuel Alejandro
Secretario del Jurado de tesis

Ing. Ruiz Saavedra, Nepton David
Vocal del Jurado de tesis

DEDICATORIA

A **Dios**, por haberme dado las fuerzas de seguir adelante cada día en toda mi vida universitaria.

A **mis padres queridos**, Rosa y Alberto que han dado todo de ellos para sacarme adelante desde pequeño.

A **mis hermanos**, que pese a la distancia cuidan de mí.

Iván Alberto Usquiano Tantaleán

A **Dios**, por haberme dado la dicha de seguir y luchar conmigo en este proceso universitario y en mi vida cotidiana.

A **mis padres**, Maritza y Juan que han sido un apoyo constante y han sido la clave de mi éxito universitario,

A **mis hermanas**, Raquel, Lady, Karina y Venus que son mi motivación diaria.

A **mi familia y mis amigos** que han sido mi apoyo anímico en todos los momentos

A **los ingenieros** que han tenido el esfuerzo de enseñarnos y educarnos de la mejor manera posible para la vida profesional.

Juan Felipe Broth Villarreal Guimarey

AGRADECIMIENTO

Agradecemos cordial y efusivamente a nuestra alma mater, Universidad Señor de Sipán por abrirnos las puertas de nuestra prestigiosa institución que nos acogió cada día hasta el último día académico.

A nuestra Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo especialmente a nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Civil por inculcarnos su enseñanza y el amor a nuestra carrera profesional y a nuestro director de escuela Msc. Ing. Omar Coronado Zuloeta que nos formó con disciplina y perseverancia en estos años de vida universitaria.

A la paciencia de nuestro Asesor de Tesis, Ing. Nepton David Ruiz Saavedra que nos guio en esta tesis con dedicación y esfuerzo para conllevar a la innovación de nuevas propuestas de investigación para ayuda de la sociedad.

A nuestro asesor metodológico por ayudar a ordenar y facilitar con métodos que facilitan el ordenamiento y la comprensión de esta tesis.

A nuestros amigos y compañeros de tesis que han sido un apoyo fundamental de esta que con su colaboración ayudaron a hacer posible esta investigación.

Los autores

ÍNDICE

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	
1.1. Situación problemática.....	18
1.2. Formulación del problema.....	20
1.3. Delimitación de la Investigación.....	20
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación.....	20
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	21
1.6. Objetivos de la Investigación.....	21
1.6.1. Objetivo General.....	21
1.6.2. Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes de Estudios.....	23
2.1.1. A nivel internacional.....	23
2.2. Bases teórico científicas.....	27
2.2.1. Mezclas Asfálticas Calientes (MAC).....	27
2.2.1.1. Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente.....	27
2.2.1.2. Consideraciones y diseño.....	28
2.2.2. Diseño de Marshall.....	30
2.2.2.1. Preparación para efectuar el procedimiento Marshall AASHTOT245.....	30
2.2.2.2. Selección de las muestras de material.....	31
2.2.2.3. Preparación del agregado.....	31
2.2.2.4. Preparación de las Muestras de Ensayo.....	33
2.2.2.5. Determinación del Peso Especifico Total (AASHTO T 166).....	34
2.2.2.6. Ensayos de Estabilidad y Fluencia.....	34
2.2.2.7. Valor de Estabilidad Marshall.....	35
2.2.2.8. Valor de Fluencia Marshall.....	35
2.2.2.9. Análisis de Densidad y Vacíos.....	36
2.2.3. Mezclas Asfálticas Tibias (MAT).....	36
2.2.3.1. Beneficios.....	38
2.2.3.2. Características de la mezcla asfáltica.....	39
2.2.4. Aceite Crudo de Palma.....	41
2.2.4.1. La materia prima. La producción de aceite en Perú.....	41
2.3. Definición de terminología.....	42
2.3.1. Mezclas Asfálticas.....	42
2.3.2. Estabilidad.....	42
2.3.3. Flexibilidad.....	42
2.3.4. Resistencia al deslizamiento.....	42
2.3.5. Trabajabilidad.....	43
2.3.6. Ensayo Marshall.....	43
2.3.7. Protocolo Kyoto.....	43
2.3.8. Palma aceitera.....	44
2.3.9. Aceite crudo de palma.....	44
2.3.10. EG-2013.....	44
2.3.11. EAL:.....	45
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	47
3.1.1. Tipo de investigación.....	47
3.1.2. Diseño de la investigación.....	47
3.2. Población y muestra.....	47
3.3. Hipótesis.....	48
3.4. Variables.....	48
3.5. Operacionalización.....	49

3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	49
3.6.1.	Métodos de investigación.....	49
3.6.2.	Técnicas de recolección de datos.....	50
3.6.3.	Instrumentos de recolección de datos.....	50
3.7.	Procedimiento para la recolección de datos.....	51
3.7.1.	Diagrama de Flujo de Procesos.....	51
3.7.2.	Descripción de los procesos.....	51
3.7.2.1.	Adquisición de Materiales.....	51
3.7.2.2.	Elaboración de Ensayos.....	52
A.	Análisis Granulométrico por Tamizado.....	52
B.	Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico.....	53
C.	Equivalente de Arena.....	55
D.	Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.....	57
E.	Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.....	58
F.	Peso Unitario Suelto y Compactado.....	60
G.	Abrasión de los Ángeles al Desgaste de los Agregados.....	61
H.	Porcentaje de Caras fracturadas.....	62
3.7.2.3.	Determinación de las proporciones de la mezcla asfáltica.....	64
3.7.2.4.	Adición del ACP a la mezcla asfáltica.....	64
3.7.2.5.	Ensayos de Estabilidad y Flujo.....	64
3.8.	Plan de análisis estadístico de datos.....	64
3.9.	Principios éticos.....	65
3.10.	Criterios de rigor científico.....	66
3.10.1.	Generalidades.....	66
3.10.2.	Fiabilidad.....	66
3.10.3.	Replicabilidad.....	67

CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	68
4.1 Resultados en tablas y figuras.....	69
4.1.1 Ensayos de calidad realizados a los agregados.....	69
4.1.2 Análisis Granulométrico por Tamizado (N.T.P. 339.128 y ASTM D422).....	69
4.1.3 Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico (N.T.P. 339.129 y ASTM D4318).....	72
4.1.4 Equivalente de Arena (N.T.P. 339.146 y ASTM D2419).....	74
4.1.5 Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso (N.T.P. 400.021 y ASTM C-127).....	76
4.1.6 Peso Específico y Absorción del Agregado Fino (N.T.P. 400.022 y ASTM C-128).....	77
4.1.7 Peso Unitario Suelto y Compactado (N.T.P. 400.017).....	79
4.1.8 Abrasión de los Ángeles al Desgaste de los Agregados (MTC E 2007- 2000 y ASTM C-131).....	81
4.1.9 Porcentaje de Caras fracturadas (MTC E 210 y ASTM C-131).....	83
4.1.10 Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas (NTP 400.040 y ASTM D-4791): ..	84
4.1.11 Contenido de Sales Solubles Totales (NTP 339.152).....	86
4.2 Proporciones de los Agregados y Porcentaje de Óptimo en el Diseño de Mezclas Asfálticas.....	87
4.2.1 Proporciones de los Agregados en la MAC Convencional.....	87
4.2.2 Porcentaje Óptimo de Asfalto.....	90
4.2.2.1 Tránsito Liviano.....	90
4.2.2.2 Tránsito Medio.....	91
4.2.2.3 Tránsito Pesado.....	92
4.3 Estabilidad y Flujo de las MAC Convencionales.....	93
4.3.1 MAC para Tránsito Liviano.....	93
4.3.2 MAC para Tránsito Medio.....	94
4.3.3 MAC para Tránsito Pesado.....	95
4.4 Estabilidad y Flujo de las MAT con ACP Tipo A.....	96

4.4.1	Para Tránsito Liviano.....	96
4.4.2	Para Tránsito Medio.....	101
4.4.3	Para Tránsito Pesado.....	106
4.5	Estabilidad y Flujo de las MAT con ACP Tipo B.....	111
4.5.1	Para Tránsito Liviano.....	111
4.5.2	Para Tránsito Medio.....	116
4.5.3	Para Tránsito Pesado.....	121
4.6	Comparación del resultado de ACP Tipo A y Tipo B.....	126
4.6.1	Para Tránsito Liviano.....	126
4.6.2	Para Tránsito Medio.....	128
4.6.3	Para Tránsito Pesado.....	130
4.7	Porcentaje de Variación de Estabilidad y Flujo de una MAT con ACP, con respecto a la MAC tradicional.....	132
4.8	Contrastación de la Hipótesis.....	134
a)	Estabilidad y Flujo para Tránsito Liviano.....	134
b)	Estabilidad y Flujo para Tránsito Medio.....	136
c)	Estabilidad y Flujo para Tránsito Pesado.....	137
4.9	Discusión de los Resultados.....	139
4.9.1	Discusión 1.....	139
4.9.2	Discusión 2.....	140
4.9.3	Discusión 3.....	140
4.9.4	Discusión 4.....	141
4.9.5	Condiciones y Limitaciones del uso del ACP en una MAT.....	141

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	143
5.2.	Recomendaciones.....	144
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
	ANEXOS.....	149

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de mezclas asfálticas en función de la temperatura.....	19
Figura 2: Prueba de comparación en la descarga de mezcla asfáltica a la izquierda una MAC y a la derecha una MAT.....	38
Figura 3: Reducción de temperaturas de colocación y de compactación.....	39
Figura 4: Diseño de Investigación	50
Figura 5: Diagrama de Procesos.....	52
Figura 6: Figura de Curva Granulométrica del Agregado Grueso.....	72
Figura 7 y 8: Tamizado del material fino para el ensayo de granulometría.....	73
Figura 9: Figura de Curva Granulométrica del Agregado Fino	74
Figura 10: Ensayo de límite líquido con el instrumento Casagrande.....	76
Figura 11 y 12: Ensayo de Limite Plástico con la muestra moldeada y pesada lista para su secado.....	76
Figura 13: Ensayo de Equivalente de arena, alistando la manguera para que descargue la solución a la muestra.....	80
Figura 14: Probetas con las muestras y la solución listas para su lectura	80
Figura 15: Peso específico del agregado grueso, muestra lista para el ensayo.....	80
Figura 16 y 17: Ensayo de peso específico del agregado fino y la prueba con el molde cónico ya con la muestra seca.....	82
Figura 18 y 19: Peso de la fiola con el agregado fino para concluir con el ensayo de peso específico del agregado fino.....	82
Figura 20 y 21: Peso unitario del agregado grueso vaciado en su molde antes pesado y después compactado con 25 golpes.....	84
Figura 22 y 23: Peso unitario del agregado fino vaciado y compactado.....	85
Figura 24 y 25: Ensayo de Abrasión de los ángeles, tamizado y vaciado para ver el desgaste del agregado grueso.....	87
Figura 26: Ensayo de partículas chatas y alargadas.....	90
Figura 27: Figura de Curva Granulométrica de la Mezcla Asfáltica Convencional.....	93
Figura 28: Figura de Contenido de Asfalto de 5.00% - T. Liviano.....	95
Figura 29: Figura de Contenido de Asfalto de 5.50% - T. Medio.....	96
Figura 30: Figura de Contenido de Asfalto de 5.50% - T. Pesado.....	99

Figura 31 y 32: Agregado grueso y fino calentado a 135° y el asfalto a 150°.....	99
Figura 33: Ensayo de Marshall para saber el flujo y la estabilidad de las briquetas.....	100
Figura 34: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo A - T. Liviano.....	101
Figura 35: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo A - T. Liviano.....	101
Figura 36: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo A - T. Liviano.....	106
Figura 37: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo A - T. Liviano.....	106
Figura 38: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo A - T. Liviano.....	107
Figura 39: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo A - T. Liviano.....	108
Figura 40: Figura de Flujo de las MAT Tipo A - T. Liviano.....	109
Figura 41: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo A - T. Medio.....	106
Figura 42: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo A - T. Medio.....	106
Figura 43: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo A - T. Medio.....	107
Figura 44: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo A - T. Medio.....	107
Figura 45: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo A - T. Medio.....	108
Figura 46: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo A - T. Medio.....	109
Figura 47: Figura de Flujo de las MAT Tipo A - T. Medio	109
Figura 48: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo A - T. Pesado.....	111
Figura 49: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo A - T. Pesado.....	111
Figura 50: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo A - T. Pesado.....	112
Figura 51: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo A - T. Pesado.....	112
Figura 52: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo A - T. Pesado.....	113
Figura 53: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo A - T. Pesado.....	114
Figura 54: Figura de Flujo de las MAT - T Tipo A. Pesado.....	114
Figura 55: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo B - T. Liviano.....	116
Figura 56: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo B - T. Liviano.....	116
Figura 57: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo B - T. Liviano.....	117
Figura 58: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo B - T. Liviano.....	117
Figura 59: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo B - T. Liviano.....	118
Figura 60: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo B - T. Liviano.....	119
Figura 61: Figura de Flujo de las MAT Tipo B - T. Liviano.....	121
Figura 62: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo B - T. Medio.....	121
Figura 63: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo B - T. Medio.....	122
Figura 64: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo B - T. Medio.....	122

Figura 65: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo B - T. Medio.....	122
Figura 66: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo B - T. Medio.....	123
Figura 67: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo B - T. Medio.....	124
Figura 68: Figura de Flujo de las MAT Tipo B - T. Medio.....	124
Figura 69: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo B - T. Pesado.....	126
Figura 70: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo B - T. Pesado.....	126
Figura 71: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo B - T. Pesado.....	127
Figura 72: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo B - T. Pesado.....	127
Figura 73: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo B- T. Pesado.....	128
Figura 74: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo B - T. Pesado.....	128
Figura 75: Figura de Flujo de las MAT Tipo B. – T. Pesado.....	129
Figura 76: Figura de MAT para Tránsito Liviano con 0.5% de ACP.....	130
Figura 77: Figura de MAT para Tránsito Liviano con 1.0% de ACP.....	130
Figura 78: Figura de MAT para Tránsito Liviano con 1.5% de ACP.....	131
Figura 79: Figura de MAT para Tránsito Liviano con 2.0% de ACP.....	131
Figura 80: Figura de MAT para Tránsito Liviano con 2.5% de ACP.....	131
Figura 81: Figura de MAT para Tránsito Medio con 0.5% de ACP.....	132
Figura 82: Figura de MAT para Tránsito Medio con 1.0% de ACP.....	132
Figura 83: Figura de MAT para Tránsito Medio con 1.5% de ACP.....	133
Figura 84: Figura de MAT para Tránsito Medio con 2.0% de ACP.....	133
Figura 85: Figura de MAT para Tránsito Medio con 2.5% de ACP.....	133
Figura 86: Figura de MAT para Tránsito Pesado con 0.5% de ACP.....	134
Figura 87: Figura de MAT para Tránsito Pesado con 1.0% de ACP.....	134
Figura 88: Figura de MAT para Tránsito Pesado con 1.5% de ACP.....	135
Figura 89: Figura de MAT para Tránsito Pesado con 2.0% de ACP.....	135
Figura 90: Figura de MAT para Tránsito Pesado con 2.5% de ACP.....	135
Figura 91: Figura de Comparación de la Estabilidad entre las MAC Convencionales y las MAT con ACP.....	137
Figura 92: Comparación del Flujo entre las MAC Convencionales y las MAT con ACP.....	137

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.....	42
Tabla 2: Cultivo de palma aceitera en el Perú	44
Tabla 3: Número de Briquetas a realizar.....	51
Tabla 4: Operacionalización de Variables.....	52
Tabla 5: Análisis granulométrico del agregado grueso	74
Tabla 6: Análisis Granulométrico del Agregado Fino	76
Tabla 7: Datos de los Ensayo de Limite Líquido y Plástico.....	79
Tabla 8: Resultados de los Ensayo de Limite Líquido y Plástico	79
Tabla 9: Resultados del Ensayo Equivalente de Arena	81
Tabla 10: Datos del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.....	83
Tabla 11: Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.....	83
Tabla 12: Datos del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.....	85
Tabla 13: Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.....	85
Tabla 14: Resultados del Ensayo Peso Unitario Suelto del agregado grueso.....	87
Tabla 15: Resultados del Ensayo Peso Unitario Suelto del agregado fino.....	87
Tabla 16: Resultados del Ensayo Peso Unitario Compactado del agregado grueso.....	88
Tabla N°17: Resultados del Ensayo Peso Unitario Compactado del agregado fino.....	89
Tabla 18: Resultados del Ensayo Abrasión de los Ángeles.....	90
Tabla 19: Datos del Ensayo de Caras Fracturadas.....	92
Tabla 20: Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas.....	92
Tabla 21: Datos del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas.....	93
Tabla 22: Resultados del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas.....	93
Tabla 23: Resultados del Ensayo de Sales Solubles.....	95
Tabla 24: Clasificación de las MAC.....	96
Tabla 25: Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional.....	96
Tabla 26: Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional – 5% de Asfalto.....	98
Tabla 27: Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional – 5.5% de Asfalto.....	98
Tabla 28: Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional – 6% de Asfalto.....	98
Tabla 29: Parámetros de Estabilidad y Flujo del MTC.....	99
Tabla 30: Contenido Óptimo de Asfalto para Tránsito Liviano.....	99
Tabla 31: Contenido Óptimo de Asfalto para Tránsito Medio.....	100
Tabla 32: Contenido Óptimo de Asfalto para Tránsito Pesado.....	101

Tabla 33: Resultados de MAC – Tránsito Liviano.....	102
Tabla 34: Resultados de MAC – Tránsito Medio.....	102
Tabla 35: Resultados de MAC – Tránsito Pesado.....	103
Tabla 36: Resultados de MAT Tipo A– Tránsito Liviano.....	104
Tabla 37: Resultados Promedios de MAT Tipo A – Tránsito Liviano.....	108
Tabla 38: Resultados de MAT Tipo A – Tránsito Medio.....	110
Tabla 39: Resultados Promedios de MAT Tipo A – Tránsito Medio.....	113
Tabla 40: Resultados de MAT Tipo A – Tránsito Pesado.....	115
Tabla 41: Resultados Promedios de MAT Tipo A – Tránsito Pesado.....	118
Tabla 42: Resultados de MAT Tipo B – Tránsito Liviano.....	120
Tabla 43: Resultados Promedios de MAT Tipo B – Tránsito Liviano.....	123
Tabla 44: Resultados de MAT Tipo B – Tránsito Medio.....	125
Tabla 45: Resultados Promedios de MAT Tipo B – Tránsito Medio.....	128
Tabla 46: Resultados de MAT Tipo B – Tránsito Pesado.....	130
Tabla 47: Resultados Promedios de MAT Tipo B – Tránsito Pesado.....	133
Tabla 48: Variación Estabilidad y Flujo MAC Convencional – MAT con ACP.....	141
Tabla 49: Estabilidad para Tránsito Liviano de una MAC vs MAT con ACP.....	143
Tabla 50: Estabilidad para Tránsito Medio de una MAC vs MAT con ACP.....	144
Tabla 51: Estabilidad para Tránsito Pesado de una MAC vs MAT con ACP.....	146

RESUMEN

La producción de mezclas asfálticas aporta a la emisión de gases que producen el efecto invernadero, por lo que surge la necesidad de tomar medidas que permitan el desarrollo de nuevas alternativas de producción. En Lambayeque no hay uso de esta nueva tecnología por lo tanto, esta investigación tiende a aportar por una nuevo material con las mismas características en las propiedades de las mezclas asfálticas, por consecuente vamos a diseñar una mezcla asfáltica añadiendo aceite crudo de palma - ACP. El objetivo fue diseñar una mezcla asfáltica tibia, a partir de ACP, que cumpla con las exigencias de estabilidad y flujo para pavimentos flexibles contemplados en la norma EG 2013. En esta investigación se utilizó el ACP añadido a la mezcla asfáltica en tibio, reduciendo el porcentaje óptimo de asfalto. Durante la realización de las 99 briquetas de asfalto, se añadió ACP en porcentajes de 0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 respectivamente, a una temperatura de 135° para los tipos de tránsitos estudiados (liviano, medio y pesado).

El porcentaje óptimo de ACP para estos 3 tipos son: 1.0% para tránsito liviano y medio y 0.5% para tránsito pesado. Estos porcentajes obtenidos son del Tipo "A" de ACP (ACP industrial), por lo que se deduce que el tipo de ACP para emplearse en una MAT es del tipo industrial, el cual se propone realizar investigaciones en tramos de prueba para que se evalúe el comportamiento de la carpeta asfáltica en tibio con el nuevo diseño con ACP.

Palabras clave: Mezcla de asfalto en tibio, diseño aceite crudo de palma, estabilidad y flujo, norma EG 2013.

ABSTRACT

The production of asphalt mixtures contributes to the emission of gases that produce the greenhouse effect, which is why there is a need to take measures that allow the development of new production alternatives. In Lambayeque there is no use of this new technology therefore, this research tends to provide a new material with the same characteristics in the properties of asphalt mixtures, consequently we are going to design an asphalt mixture adding crude palm oil - CPO. The objective has been to design a warm asphalt mix, from CPO, that meets the requirements of stability and flow for flexible pavements contemplated in the EG 2013 standard. In this research the CPO added to the asphalt mixture in warm was used, reducing the optimum percentage of asphalt. During the realization of the 99 asphalt briquettes, CPO was added in percentages of 0.5, 1, 1.5, 2 and 2.5 respectively, at a temperature of 135 ° for the studied types of transits (light, medium and heavy).

The optimum percentage of CPO for these 3 types are: 1.0% for light and medium traffic and 0.5% for heavy traffic. These percentages are of Type "A" of CPO (industrial CPO), so it is deduced that the type of CPO to be used in a MAT is of the industrial type, which is proposed to conduct investigations in test sections to be evaluated the behavior of the asphalt folder in warm with the new design with CPO.

Keywords: Asphalt blend in warm, crude palm oil design, stability and flow, standard EG 2013.

INTRODUCCIÓN

Lopera, C. (2011) Las carreteras son esenciales para el bienestar de la humanidad, tanto en términos sociales como económicos, pero es innegable que su construcción, mantenimiento y uso tienen un impacto negativo en el ambiente, en este contexto, la Ingeniería Civil propone como principal innovación la utilización de mezclas asfálticas en tibio utilizando diversos aditivos.

En esta tesis de investigación, se pensó en modificar el asfalto en caliente convencional adicionándole aceite crudo de palma y disminuyendo la temperatura de esta, para determinar la estabilidad y flujo con porcentajes añadidos de aceite crudo de palma a la mezcla asfáltica y verificar el cumplimiento de las propiedades mencionadas para el asfalto en caliente convencional según el reglamento EG-2013.

En los ensayos de calidad para los agregados se comprobó que cumple con todos los rangos máximos y mínimos, que intervienen en la mezcla, tal y como lo indica el MTC en su manual de carreteras – especificaciones técnicas generales para construcción – EG 2013 en los diferentes ensayos que se realizó. El porcentaje obtenido optimo fue de 5.00% para transito liviano y 5.50% para transito medio y pesado, cumpliendo en todos los casos con los parámetros de estabilidad y flujo. También hemos determinado que el tipo de aceite crudo de palma más adecuado para el uso en MAT es el del tipo industrial. Se encontró que el aceite crudo de palma mejora las características mecánicas de estabilidad y flujo para cada tránsito en los siguientes porcentajes añadiéndole a la mezcla: 1.0% para transito liviano, para transito medio y pesado 0.50 %. La adición del aceite crudo de palma en 1% para transito liviano mejora los parámetros de estabilidad y flujo respecto a una mac convencional en 131% y 48%. Para el

transito medio resulto un aumento de 11% en estabilidad y en 3% en flujo en comparación con la mezcla asfáltica en caliente convencional. Con la combinación del aceite crudo de palma en la cantidad de 0.5% para tránsito pesado se obtuvo un incremento de estabilidad, pero en flujo disminuye en - 1,67%.

Esta tesis consta de cinco capítulos los cuales, son:

En el capítulo I: Se describe los antecedentes de esta investigación y la situación problema a nivel mundial, nacional y regional con respecto a nuestro tema de investigación, también aquí se formuló la situación problema y los objetivos de esta tesis.

El capítulo II: Se trató el marco sobre el marco teórico lo cual consta de las bases teóricas – científicas que se requieren para desarrollar en el laboratorio los procedimientos para la elaboración de un asfalto tibio modificado.

En el capítulo III: Se narra el marco metodológico, el diseño y el tipo de nuestra investigación que con este, le hemos realizado una hipótesis que se relacionó con el añadimiento del aceite crudo de palma para ver si genera algún tipo de efecto al asfalto en tibio.

En el capítulo IV: Se hizo el análisis e interpretación de los resultados, ya que la investigación consta de un trabajo arduo de laboratorio para la comparación respectiva de la variable estudiada que en este caso es la mezcla asfáltica y obtener sus parámetros para comprobarlos si están acorde a las indicaciones del EG – 2013.

En el capítulo V: Se consideran las conclusiones y recomendaciones. Además se exponen los anexos.

CAPÍTULO I:
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación problemática.

La producción de mezclas asfálticas en caliente es una de las actividades industriales dentro del sector transportes que aportan a la emisión de gases que producen el efecto invernadero, tal como lo estipula el artículo 10 del Protocolo de Kyoto, por lo que en este sector surge la necesidad de tomar medidas que permitan el desarrollo de nuevas alternativas de producción o en la mejora de las existentes, pero sin que con ello se vean afectadas las propiedades de las mezclas asfálticas.

Surge así, como una alternativa viable, la producción de mezcla asfáltica sustentable o mezclas asfálticas tibias (warm mix asphalt), con las cuales se pretende reducir la temperatura de mezclado y compactación del asfalto a través del agregado de algunos aditivos.

La producción de la mezcla asfáltica actualmente permite regular estrictamente todas las emisiones atmosféricas de las mezclas asfálticas en tibio. Estas mezclas nos permiten realizar la producción de la mezcla en tibio a menos grados de temperatura que la mezcla en caliente, lo cual reduce su viscosidad y disminuye en forma gradual los costos de su producción por la reducción del combustible utilizado para la mezcla.

Esta mezcla asfáltica puede ser utilizada no solo para el diseño de una nueva carretera que beneficie a las personas, sino también para el mantenimiento de las carreteras.

En Colombia se estudian propuestas sobre mezclas asfálticas en tibio que permitirá explorar en toda su magnitud de un proyecto y con distintas opciones, la capacidad de reducir con eficacia el impacto ambiental en el mantenimiento, diseño y construcción de una carretera diseñada con mezcla asfáltica tibia.

Argentina también tiene estudios sobre esta mezcla asfáltica y recalcan el buen uso de esta mezcla ya que, por la disminución de temperatura y colocación de esta mezcla, va a permitir reducir costos de energía y paralelamente las emisiones que causan las mezclas asfálticas en caliente a la capa de ozono. Señala también las ventajas de usar este tipo de mezcla es el envejecimiento

premature del asfalto por la planta asfáltica, reducción de riesgo de segregación por la temperatura, la compactación del material, entre otros.

Montalvo, M. (2010) En el Perú, al año se asfaltan en promedio unos 800 km de carreteras, de las cuales el 50% se hacen en caliente. Sin embargo, en nuestro país no se ha comenzado a hacer uso de esta nueva tecnología, a diferencia de países como Argentina, Chile y México que ya están haciendo uso de este tipo de mezcla, por lo que es necesario la toma de conciencia del sector construcción para implementar este tipo de mezcla y lograr así disminuir el impacto ambiental generado anualmente.

Mezclas asfálticas

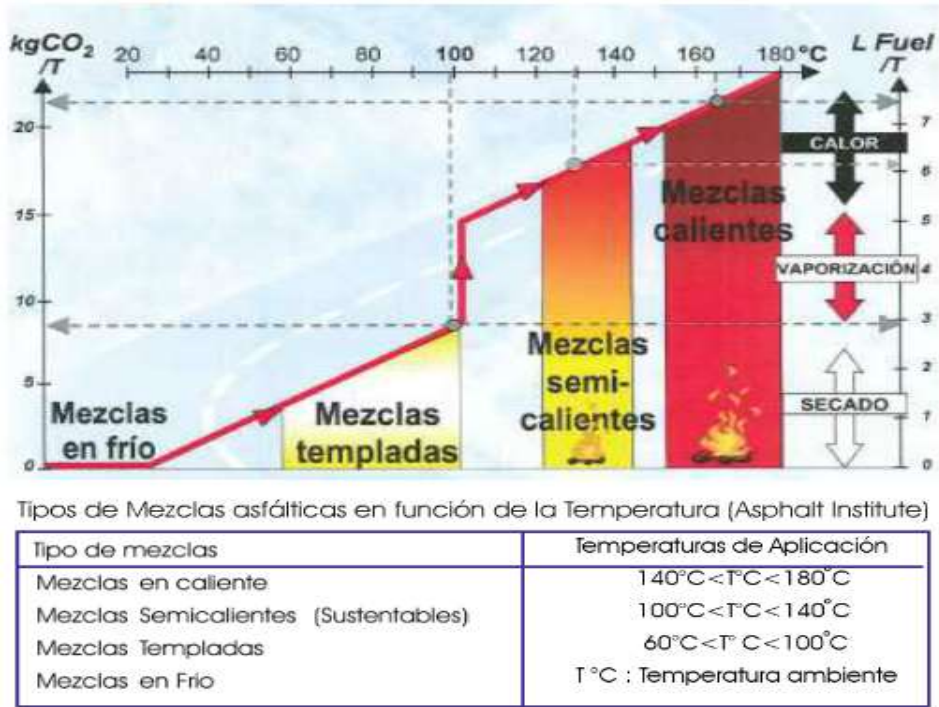


Figura 1: Tipos de mezclas asfálticas en función de la temperatura.

Fuente: Revista Especializada PERUVIAS EDICIÓN N° 15 (2014)

En la región Lambayeque mucho menos se ha pensado en hacer uso de esta nueva tecnología por lo que es aquí donde entra esta investigación para aportar por una nueva alternativa de material y mejorar la calidad de vida con un producto más ecológico y económico con las mismas características en las propiedades de las mezclas asfálticas.

1.2. Formulación del problema.

¿Cómo influye la adición de aceite de palma en las propiedades mecánicas de Estabilidad y Flujo de una mezcla asfáltica en caliente?

1.3. Delimitación de la Investigación.

El alcance de esta investigación abarca hasta el desarrollo y la interpretación de los ensayos que se realizarán en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidad Señor de Sipán.

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación.

Exponer en qué medida la investigación aportará a la solución de problemas ambientales, además de la cobertura de necesidades en el medio; cómo contribuirá a responder a las expectativas de protección ambiental y demandas de comunidad para realizar los tipos de proyectos con el material que vamos a trabajar; porqué es necesaria e importante su ejecución y producción. Se debe también considerar los aspectos tecnológico, social, económico y ambiental (de acuerdo a la naturaleza). Ya que se debe tener en cuenta que mientras más ecológico sea el producto aportaremos al medio ambiente, e ir contribuyendo en cierta parte con la biotecnología, y diseñar una carpeta asfáltica adecuada a las necesidades de los proyectos.

Una mezcla asfáltica en tibio que cumpla las necesidades para cualquier tipo de proyecto vial, será muy importante y beneficioso para cada persona que trabaje y esté ubicada alrededor del proyecto, más aun, el medio ambiente no se verá afectado. Así mismo es importante recalcar que este nuevo diseño de asfalto, contribuirá a más empleos de trabajo y se verá si cumple o mejora la resistencia del asfalto común, y así elaborar mejores carpetas asfálticas en las carreteras de nuestro país, por eso, este tema abarca nueva biotecnología para estar a la vanguardia en el tema de pavimentos y brindar producto de calidad a las carreteras del Perú ya que en otros países también se vienen trabajando con el mismo tema, Estados Unidos, México, Holanda, España y muchos más, y lo vamos adecuar a nuestra norma técnica y la realidad de cada proyecto.

1.5. Limitaciones de la Investigación.

Una limitación de la presenta investigación es el uso de los equipos de laboratorio, puesto que si no se realizan adecuadamente los ensayos podría afectar en gran medida los resultados.

Así mismo la posibilidad de conseguir los materiales, como es el aceite crudo de palma, es muy importante.

1.6. Objetivos de la Investigación.

Objetivo General.

Diseñar una mezcla asfáltica tibia, a partir de aceite de palma, que cumpla con las exigencias de estabilidad y flujo para pavimentos flexibles contemplados en la norma EG 2013.

Objetivos Específicos.

Elaborar los ensayos de calidad para los agregados que intervienen en la mezcla.

Encontrar un porcentaje de asfalto óptimo que satisfaga las condiciones de estabilidad y flujo para una MAC.

Determinar el tipo de aceite crudo de palma más adecuado para usarse en mezclas asfálticas tibias.

Hallar el porcentaje adecuado de aceite crudo de palma que se debe adicionar a la mezcla asfáltica.

Evaluar la variación de las propiedades de estabilidad y flujo de esta mezcla con respecto a una tradicional realizando un estudio comparativo de las dos mezclas asfálticas.

Establecer las limitaciones del uso del aceite crudo de palma en una mezcla asfáltica tibia.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios.

2.1.1. A nivel internacional.

Méndez, G. y otros. (2014) ***“Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la metodología Marshall, utilizando asfalto espumado”*** La dosificación de los agregados utilizada para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente y mezcla asfáltica tibia, se realizó con base a la metodología Bailey, obteniendo el proporcionamiento siguiente: grava $\frac{3}{4}$ ” 15%, grava $\frac{1}{2}$ ” 35% y arena triturada 50%, con el cual se garantiza un empaquetamiento de agregados que ayude a las propiedades de la mezcla asfáltica tibia, el diseño de la mezcla asfáltica en caliente es el mismo que se utilizó para producir la mezcla asfáltica tibia con asfalto espumado, los cuales fueron analizados con los lineamientos de la metodología Marshall para una mezcla densa, cumpliendo con estos y haciendo la mezcla apta para su producción y colocación. La mezcla asfáltica tibia con asfalto espumado puede producirse a temperaturas menores o iguales que la mezcla asfáltica en caliente, cumpliéndose de igual manera con los parámetros especificados en las normas que rigen la calidad de la mezcla. La dosificación de agua para el proceso de espumación varía de 1.5 a 5%, en la mezcla asfáltica tibia en estudio se utilizó 4%, dando como resultado una razón de expansión de 14 veces y una vida media de 8 segundos, siendo aceptables con base a los mínimos requeridos. La mezcla asfáltica tibia y la mezcla asfáltica en caliente tienen aproximadamente el mismo diferencial de temperatura de compactación en campo, para temperaturas de producción similares; con la curva de compactación de las distintas mezclas, se obtuvieron temperaturas de 102°C y 106°C, para mezcla asfáltica en caliente y mezcla asfáltica tibia respectivamente. Las mezclas asfálticas tibias son más propensas a sufrir daño por humedad, por lo tanto, se obtienen valores de TSR ligeramente menores que los obtenidos para una mezcla asfáltica en caliente. Para la mezcla asfáltica tibia se obtuvieron valores de TSR de 79.26% y 80.89% con temperaturas de producción de 145°C y 155°C respectivamente; y el valor de TSR, para la mezcla asfáltica en caliente fue de 86.36%. La mezcla asfáltica tibia con asfalto espumado produce una serie de ventajas, como la disminución de emisiones volátiles a la atmósfera, una mejor trabajabilidad debido a la reducción de la viscosidad del asfalto, un ahorro en el

consumo de energía y combustible y una disminución significativa de olores que producen las mezclas convencionales.

Álvarez, A. y otros. (2013). **“Evaluación de laboratorio de la compactabilidad y el desempeño de mezclas asfálticas tibias”**. Esta publicación indica que la reducción de temperatura de las mezclas asfálticas conlleva ventajas, comparadas con la construcción de las mezclas asfálticas en caliente (MAC), que incluyen ahorros de energía, menores emisiones y condiciones de trabajo más seguras. El artículo evalúa algunos de estos aspectos incluyendo compactabilidad y su relación con el diseño de mezcla y desempeño de las mezclas asfálticas tibias (MAT) en laboratorio (i.e., deformación permanente y resistencia a la fisuración), fabricadas con tres modificadores tipo MAT, específicamente Advera®, Sasobit® y Evotherm®. Los resultados correspondientes mostraron que la compactabilidad en laboratorio para las MAT es equivalente o mejor que la obtenida para la MAC empleada como referencia, conllevando a menores contenidos óptimos de asfalto seleccionados con base en una densidad de diseño específica (i.e., 96%). En términos de desempeño, la inclusión de los aditivos tipo MAT generó la reducción de la resistencia de la mezcla ante deformación permanente, aunque su resistencia al agrietamiento podría permanecer igual o incluso mejorar en comparación con aquella de la MAC.

Álvarez, A. y otros. (2012). **“Estructura interna de mezclas asfálticas tibias compactadas en laboratorio”**. Se centró en el análisis de la estructura interna de especímenes de MAT compactados usando el Compactador Giratorio Superpave (CGS) y el Compactador Giratorio de Texas (CGTx). Este análisis fue realizado en términos de las características de los vacíos evaluadas mediante la aplicación de tomografía computarizada con Rayos-X y técnicas de análisis de imágenes. Los resultados obtenidos sugieren que la adición de aditivos tipo MAT y la correspondiente reducción de la temperatura de compactación de especímenes compactados en el CGS no generaron cambios significativos en la distribución vertical del contenido total de vacíos comparado con la distribución de la MAC de control. Sin embargo, algunas diferencias fueron reportadas en términos del tamaño de los vacíos, lo cual sugiere la existencia de discrepancias

en la condición de empaquetamiento del agregado. Por lo tanto, se sugirió investigación adicional para validar completamente la equivalencia de la estructura interna de las MAT y las MAC.

Álvarez, A. y otros. (2012). **“Análisis de vacíos conectados en mezclas asfálticas tibias”**. Se centró en la evaluación de la estructura interna de las MAT (calculada en términos de las características de los vacíos conectados (VC)), fabricadas con tres aditivos tipo MAT: Asphamin®, Sasobit®, y Evotherm®. El contenido de VC corresponde a la fracción de vacíos que forman rutas conectadas en un espécimen compactado y está mejor relacionado con la respuesta de la mezcla asfáltica (e.g., permeabilidad) que el contenido total de vacíos. El análisis de VC se basó en la aplicación de tomografía computarizada con rayos-X y el subsecuente análisis de imágenes. Los resultados correspondientes sugirieron la necesidad de realizar investigación adicional para caracterizar mezclas compactadas en campo, producidas a niveles de densificación comparables con aquellos obtenidos en laboratorio. Adicionalmente, la inclusión de aditivos tipo MAT y la correspondiente reducción de temperatura no afectaron notoriamente la estructura interna de especímenes compactados en laboratorio (115 mm de altura) producidos para evaluación de mezcla en laboratorio.

Larsen, D. y otros. (2010). **“Aplicación de mezclas asfálticas tibias en la ciudad autónoma de Buenos Aires - Tramos Experimentales”** La reducción de temperaturas buscada fue lograda en la elaboración y colocación de las mezclas con asfaltos con aditivos. A partir de ello se concluye que: La mezcla conformada con asfalto modificado tibio (AM3 Tibio) tuvo igual o mejor comportamiento que su equivalente con asfalto modificado sin aditivo (AM3) en todos los parámetros evaluados. Las mezclas conformadas con asfalto convencional con y sin aditivo (CA30 Tibio y CA30) tuvieron comportamientos similares, pero la elaboración con menores contenidos de asfalto en ambos casos y la ejecución de ambos tramos presentó inconvenientes que deberían ajustarse en próximas experiencias. La medición de emisiones en planta y en obra demostró la disminución de CO₂ en las mezclas tibias. En definitiva, con los resultados obtenidos en estas pruebas se demostró que es posible el empleo de

estas tecnologías en Argentina cuando se aplican correctamente los procesos de ejecución del pavimento.

Lopera, C. y otros. (2013). **“Diseño de mezcla asfáltica tibia a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma”**. Es la primera vez en Colombia que se estudia el uso del aceite crudo de palma como aditivo reductor de viscosidad del asfalto. Se analizaron 3 muestras de diferentes partes del país y se seleccionó la muestra de “dismaprim” por cumplir con los controles de calidad. La gradación de la mezcla se obtuvo con 54.1% de gruesos, 41.7% de finos y 4.2% de llenante utilizando cal hidratada, y se mezcló con asfalto de penetración 60-70, modificado con crudo de palma al 1%. El diseño se realizó por el método Marshall, la temperatura de producción de la mezcla se logró reducir de 155°C a 126°C, así como la viscosidad del asfalto y se mejoró el desempeño de la mezcla asfáltica tibia comparada con la mezcla asfáltica en caliente.

Celis, L. y otros. (2008). **“Diseño de mezcla asfáltica tibia”**. Esta tesis logró el objetivo de crear una mezcla asfáltica tibia, a una temperatura de 100°C, obteniendo un excelente recubrimiento del agregado, mediante la expansión y efervescencia del asfalto, por acción de la zeolita. Se comprobó que la zeolita húmeda produce una mayor efervescencia y expansión del asfalto que la misma zeolita seca y fino húmedo. La mezcla asfáltica creada a menor temperatura (100°C) de la que se registraba en la literatura encontrada (120°C), los ensayos de laboratorio mostraron que la mezcla asfáltica tibia mediante el uso del mineral zeolita, tiene mejores características mecánicas que la mezcla fabricada a 100°C, según el ensayo de inmersión compresión, el cual si se realiza sobre la misma muestra (antes y después de ser afectada), se podría concluir que en la mezcla tibia se presenta una buena adherencia del asfalto con el agregado. Pero según el ensayo de estabilidad y flujo, la resistencia máxima de la Mezcla Asfáltica Tibia, se ve más afectada que el resto de las mezclas, lo cual diría que la adherencia no es buena. Por lo cual se puede decir que los ensayos realizados para comprobar la afectación de las mezclas por el agua no son concluyentes. Esta mezcla asfáltica tibia estuvo adentro del rango de lo normal de porcentaje de vacíos con aire establecido por INVIAS (3% - 5%), lo cual implica que la mezcla es de fácil compactación.

2.2. Bases teórico científicas.

2.2.1. Mezclas Asfálticas Calientes (MAC).

Padilla, A. (2004) Las mezclas asfálticas en caliente es la más usada actualmente, y se define a esta como una combinación entre agregados, lígate hidrocarbonado y aditivos en los casos requeridos, de tal manera en que toda la mezcla asfáltica quede recubierta por una película homogénea de lígate entre ellas. El proceso de la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente está en calentar el ligante junto con el agregado con polvo mineral para que aporte a la combinación de estas, y después ser llevado a obra a temperatura muy superior al ambiente.

Esta mezcla asfáltica tiene que tener como finalidad mostrar un buen desempeño del pavimento construido durante la vida útil de la carretera, lo cual debe diseñarse para cada tipo de diseño que va a estar orientado y las condiciones climáticas que esta mezcla soportará ya que si no cumple con las condiciones climáticas la mezcla asfáltica puede ser dañina para el desarrollo del proyecto.

Una vez vaciada de la pavimentadora la mezcla asfáltica y con la temperatura conforme se tiene que asegurar que la superficie esté correctamente diseñada conforme los planos para poder vaciar la mezcla, ya vaciada y extendida la mezcla se compacta para que tenga sus propiedades resistente al desgaste que se produce por las ruedas de los vehículos, que al pasar la solicitud del peso de estos a las subcapas del pavimento, así absorbiendo el peso distribuido por capas.

2.2.1.1. Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente.

Las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente son las siguientes:

Durabilidad: Propiedad de la mezcla asfáltica que hace que el pavimento sea capaz de resistir la desintegración por el paso del tránsito y al medio ambiente.

Estabilidad: Capacidad de la mezcla asfáltica para resistir las cargas por el peso de los vehículos sin que se produzcan deformaciones.

Vacíos de aire: Son espacios diminutos de aire que están dentro de la mezcla ya compactada y se va a tener en cuenta dependiendo del diseño que se requiera.

Flexibilidad: Adaptación de deformaciones de la mezcla por asentamiento de la base y sub base sin agrietarse.

Resistencia a la fatiga: Capacidad del pavimento de soportar esfuerzos provocados por el peso y las repetidas veces que pasan los vehículos.

Impermeabilidad: Estas mezclas deben ser impermeables en su totalidad, de manera que en la superficie el agua no ingrese hacia las capas inferiores del pavimento, para que no ocasione y no pierda su capacidad de soporte.

Resistencia al deslizamiento: Es la capacidad de deslizamiento del pavimento, es muchas ocasiones cuando está húmedo.

Trabajabilidad: Capacidad de colocación y compactación fácilmente de la mezcla.

2.2.1.2. Consideraciones y diseño.

El diseño de la mezcla asfáltica en caliente consiste en seleccionar la granulometría y el asfalto indicado para que una vez elaborada la mezcla, esta cumpla con las condiciones que exige el diseño por el proyectista. Los métodos para la dosificación tienen el objetivo de hallar el porcentaje de asfalto que sea óptimo para que a la hora de combinar con los agregados cumpla con las propiedades diseñadas.

Para elaboración de la mezcla asfáltica, debe de cumplir que los agregados y asfaltos deben ser analizados para comprobar si están aptos para la construcción del pavimento.

Para esta tesis el diseño de mezcla asfáltica a utilizarse será el Método Marshall, el cual esta empleado de ensayos mecánicos para la obtención de la mezcla.

Este método se aplica a mezclas en caliente con cementos asfálticos con agregados de tamaño máximo igual que 25mm. Este método se puede utilizar en campo como el laboratorio.

Este desarrollo del método consiste elaborar una serie de probetas que exige la norma de 2 ½" de altura y de 4" de diámetro, las cuales van a diferir en el porcentaje que se añadirá de ligante. Suelen utilizarse al menos cinco contenidos de cemento asfáltico, variando entre ellos en 0.5%, tratando de estar por encima y por debajo del óptimo. Para el contenido de cada ligante, se fabrican tres probetas como mínimo.

Estas probetas se preparan con un procedimiento especificado de mezclado, calentamiento y compactación. Estas temperaturas de mezclado y compactación dependen del cemento asfáltico que se utilice para fabricar las probetas.

La compactación de la mezcla asfáltica está adentro de los moldes y se realiza mediante el martillo Marshall, que es un instrumento de acero, que está compuesto por una base plana y circular de 3 7/8" de diámetro, con un peso de 10lb (4.54 kg) y diseñado de modo que la altura de caída es de 18". Estas probetas se compactarán con 75 golpes por cara, o según el proyecto vial que sea diseñado.

Las características principales de este método son el análisis de Densidad-Huecos y el ensayo de fluidez y estabilidad de las probetas utilizadas en el laboratorio.

La estabilidad de las probetas utilizadas es el valor de la carga máxima en Newton que va alcanzar al ensayarla a la compresión lateral en la máquina de ensayo de Marshall, la cual está maquina está diseñada para aplicar cargas a las probetas a través de unas mordazas semicirculares a una velocidad de deformación de 51mm por minuto. La fluidez es la deformación, en cuartos de milímetros, y ocurre desde el comienzo que se aplica la fuerza hasta lograr fuerza máxima.

Con estos valores que se obtienen, y por los criterios que imponen el Manual de Carreteras nosotros vamos a diseñar la mezcla para la carpeta de

rodadura, obteniendo el porcentaje óptimo de asfalto y la mezcla que se van a utilizar para el buen funcionamiento de la estructura.

2.2.2. Diseño de Marshall.

Cáceres, C. (2007). El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Misisipi, el propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall, solo se aplica a mezclas asfálticas (En caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (Probetas) de 64mm (2.5in) de espesor por 103mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: Un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

2.2.2.1. Preparación para efectuar el procedimiento Marshall AASHTOT245.

Cáceres, C. (2007). Diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento

etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez efectuado lo anterior, se procede con la preparación de los ensayos.

2.2.2.2. Selección de las muestras de material.

Cáceres, C. (2007). La primera preparación para los ensayos consta reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: Los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde la mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

2.2.2.3. Preparación del agregado.

Cáceres, C. (2007). La relación de viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas del mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

Secado del agregado.

El método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan practico como sea posible Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos. Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a temperatura de 110°C (230°F). Después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa y se registra su valor.

La muestra se calienta por segunda vez, y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

Análisis Granulométrico por Vía Húmeda.

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

1. Cada muestra de agregado es secada y pesada.
2. Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.0075mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.
3. Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente
4. El peso seco de cada muestra es registrado. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.

Determinación del Peso específico.

El peso específico de una sustancia es la proporción peso-volumen de una unidad de esta sustancia comprada con la proporción peso-volumen de una unidad igual de agua. El peso de específico de una muestra de agregado es determinado al comprar el peso del volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). Por ejemplo, la muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5.

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones agregadas, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

2.2.2.4. Preparación de las Muestras de Ensayo.

Cáceres, C. (2007). Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

1. El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.

2. Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla.

3. Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35,50 ó 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

2.2.2.5. Determinación del Peso Específico Total (AASHTO T 166).

Cáceres, C. (2007). El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.

2.2.2.6. Ensayos de Estabilidad y Fluencia.

Cáceres, C. (2007). El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

1. Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60°C (140°F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.

2. La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).

3. La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51mm (2in) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.

4. La carga falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

2.2.2.7. Valor de Estabilidad Marshall.

Cáceres, C. (2007). El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falta totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumentada al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. Luego se suspende la carga una vez que se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el Valor de Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pesar que, si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia de material es frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

2.2.2.8. Valor de Fluencia Marshall.

Cáceres, C. (2007). La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son

consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse facialmente bajo las cargas del tránsito.

2.2.2.9. Análisis de Densidad y Vacíos.

Cáceres, C. (2007). Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

Análisis de Vacíos.

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado; o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T 209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y agua.

Análisis de Peso Unitarios.

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 100kg/m³ (62.4 lb/ft³).

2.2.2.10. Mezclas Asfálticas Tibias (MAT).

Ulloa, A. (2011) Las mezclas asfálticas tibias (MAT o Warm Mix Asphalt, WMA) son un conjunto de tecnologías desarrolladas en Europa durante el Protocolo de Kyoto y la Comunidad Económica Europea en 1997, como una respuesta los gases del efecto invernadero. La National Asphalt Pavement Association (NAPA) en cooperación con la Federal Highway Administration (FHWA) introdujeron las MAT en el World Asphalt Show & Conference del 2004, en Nashville, TN. Como aporte a estos problemas ambientales.

El objetivo de estas tecnologías es bajar las temperaturas de trabajo, principalmente de compactación. Para ello existen diferentes técnicas que buscan reducir la viscosidad del ligante asfáltico y que pueden aplicarse tanto en mezclas continuas como discontinuas. Dichas técnicas se separan en cuatro categorías definidas como:

- ✓ Reducción de la viscosidad utilizando aditivos orgánicos.
- ✓ Asfaltos espumados.
- ✓ Tecnologías con bases acuosas.
- ✓ Uso de aditivos químicos (emulsiones).

La reducción en las temperaturas de mezclado y compactación varía entre 10°C y 50°C (Pavia Systems & NAPA), dependiendo del tipo de aditivo o proceso empleado. Esta reducción de temperatura puede generar una disminución del consumo de energía y mejorar las condiciones de trabajo en obra ya que permite mayor trabajabilidad y por tanto mayor eficiencia en la compactación.

La reducción de la temperatura durante la producción y compactación de la MAT disminuye la emisión de compuestos tóxicos como dióxido de carbono, dióxido de sulfuro, compuestos volátiles, monóxido de carbono y óxido nitroso. De acuerdo con varios proveedores, el uso de MAT puede representar un ahorro en la producción de mezclas asfálticas, asociado con el control de emisiones.

Por otro lado, los proyectos que incorporan el uso de mezclas MAT pueden generar ahorros de entre un 10% y un 30% de combustible en el proceso de calentamiento de los agregados y de la mezcla asfáltica en atención a que las temperaturas requeridas son inferiores con respecto a las mezclas MAC. La reducción del uso de combustible depende de la reducción de temperatura de la mezcla, el contenido de humedad de los agregados pétreos y las características de operación de la planta.

Descarga de mezcla asfáltica



Figura 2: Prueba de comparación en la descarga de mezcla asfáltica a la izquierda una MAC y a la derecha una MAT.

Fuente: Boletín Técnico PITRA. (2011)

2.2.2.11. Beneficios.

Los beneficios constructivos asociados al uso de MAT se describen a continuación:

El gradiente de enfriamiento de la MAT es menor al de la MAC, debido a que la primera presenta menor diferencia entre la temperatura de la mezcla y la temperatura ambiente, generando la posibilidad de transportar la mezcla a lo largo de mayores distancias y contar con un periodo de tiempo más amplio para el proceso de instalación y compactación.

Potencial de reducir el envejecimiento prematuro, debido a la disminución en las temperaturas de producción y compactación, lo cual disminuye el endurecimiento por oxidación del ligante asfáltico, reflejándose en una mayor durabilidad del pavimento.

La posibilidad de compactar la mezcla con una menor energía, debido a que las temperaturas son inferiores y presentan mayor trabajabilidad.

La apertura temprana al tráfico.

La posibilidad de incorporar mayores porcentajes de concreto asfáltico reciclado.

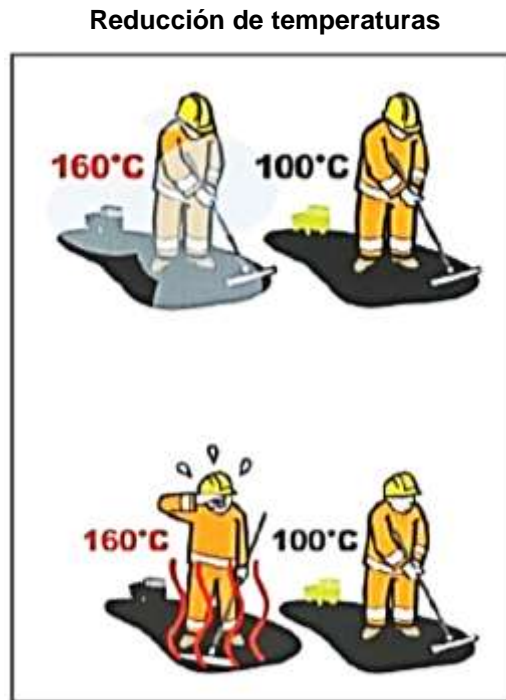


Figura 3: Reducción de temperaturas de colocación y de compactación.

Fuente: Boletín Técnico PITRA. (2011)

2.2.2.12. Características de la mezcla asfáltica.

Andrade, S. (2015) El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en la selección del tipo y granulometría del agregado a emplear, y de la selección del tipo y contenido de asfalto, de tal manera que se obtengan las propiedades deseadas en la mezcla y se satisfagan los requisitos específicos del proyecto. La selección apropiada de los materiales (con la calidad suficiente) que constituirán la mezcla y de sus proporciones correctas, requiere el conocimiento de las propiedades más significativas de las mezclas, y de su influencia en el comportamiento del pavimento. Para una aplicación específica e independientemente del procedimiento de diseño empleado.

Requisitos que la mezcla asfáltica debe cumplir referente al ensayo Marshall, detalla el Manual de Carreteras EG 2013 – MTC.

Tabla 1:

Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.

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	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
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 Mín.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactabilidad se define como:
$$\frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 5}$$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Fuente: Manual de Carreteras EG. (2013)

La mezcla clase A se utiliza para vías expresas (Tránsito Pesado) $EAL \geq 10^6$

La clase B para vías colectoras y arteriales (transito Mediano) $10^4 \leq EAL < 10^6$

La clase C para vías locales (tránsito Liviano) $EAL < 10^4$

2.2.3. Aceite Crudo de Palma.

No se reportan cifras tan significativas de producción de este biodiesel en nuestro país, aunque algunas empresas productoras de aceite de palma han instalado algunas plantas piloto para producirlo a partir del aceite de palma.

2.2.3.1. La materia prima. La producción de aceite en Perú.

Principales fuentes vegetales: Aunque en la actualidad la principal fuente de aceite vegetal que se produce de forma significativa en el Perú es la palma africana y en menor medida la soja, existen otros cultivos que se están explorando como una fuente potencial de aceite para biodiesel.

A continuación, se detallan algunas características de estos cultivos en Perú.

Palma aceitera: En Perú el principal cultivo oleaginoso es la palma aceitera, que se produce en la región amazónica y tiene un amplio potencial de crecimiento. Las áreas destinadas a la producción de palma aceitera se ubican principalmente en San Martín, Ucayali, Loreto y Huánuco. La superficie total estimada de cultivo es de 21 222 ha. San Martín es el departamento con la mayor producción, seguido por Ucayali, Loreto y Huánuco. De esta superficie, alrededor del 60% (12 437 hectáreas) se encuentra en producción (Tabla 02).

La productividad de estas plantaciones presenta una gran variación según el nivel de tecnología que se emplee.

Tabla 02:

Cultivo de palma aceitera en el Perú

Región	Área (ha)				Producción	
	Producción	Crecimiento	Vivero	Total	Racimos (unids)	Aceite crudo (t)
San Martín	9 800	2 570	1 320	13 690	180 000	39 600
Ucayali	2 537	1 895	1 500	5 932	36 592	8 050
Loreto	100	500	501	1 400	1 200	264
Huanuco	0	0	200	200	0	0
Total	12 437	4 965	3 250	21 222	217 792	47 914

Fuente: Direcciones Regionales Agrarias de San Martín, Ucayali, Loreto y Huánuco.

2.3. Definición de terminología.

2.3.1. Mezclas Asfálticas. Perleche,J. y Vilchez,A. *Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de cal hidratada en el departamento de Lambayeque.*(Tesis en Ingeniería Civil ,Universidad Señor de Sipán). (Acceso el 2015)

La mezcla asfáltica la constituye un material pétreo recubierto con una película de asfalto, uniformemente combinados, en proporciones previamente especificadas. Las cantidades relativas de estos materiales, determinan las propiedades y características de la mezcla.

2.3.2. Estabilidad. Perleche,J. y Vilchez,A. *Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de cal hidratada en el departamento de Lambayeque.*(Tesis en Ingeniería civil ,Universidad Señor de Sipán). (Acceso el 2015)

Se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Esta propiedad depende de la cohesión de la mezcla y de la fricción interna.

2.3.3. Flexibilidad. Perleche,J. y Vilchez,A. *Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de cal hidratada en el departamento de Lambayeque.*(Tesis en Ingeniería civil ,Universidad Señor de Sipán). (Acceso el 2015)

Capacidad de la mezcla de adaptarse a las deformaciones por asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse.

2.3.4. Resistencia al deslizamiento. Perleche,J. y Vilchez,A. *Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de cal hidratada en el departamento de Lambayeque.*(Tesis en Ingeniería civil ,Universidad Señor de Sipán). (Acceso el 2015)

Es la capacidad de deslizamiento del pavimento, es muchas ocasiones cuando está húmedo.

2.3.5. Trabajabilidad. Chávez,J y Herna,E. *Elaboración de mezclas asfálticas con partículas de caucho reciclado en el departamento de Lambayeque.* (Tesis en Ingeniería civil, Universidad Señor de Sipán).(Acceso el 2015)

Se refiere a la capacidad que tenga la mezcla de colocarse y compactarse con facilidad

2.3.6. Ensayo Marshall. Perleche,J. y Vilchez,A. *Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de cal hidratada en el departamento de Lambayeque.*(Tesis en Ingeniería civil ,Universidad Señor de Sipán).(Acceso el 2015)

Es un método para dosificar la mezcla asfáltica empleado asfalto sólido y material granular que no supera los 54cm como máximo. Esta prueba resulta la cantidad de asfalto para la estabilidad suficiente sin provocar desplazamientos o distorsiones del pavimento, dependerá también de la compactación que se dé a este. Los datos más importantes del diseño de las mezclas por el método Marshall son: un análisis de densidad, relación de vacíos y una prueba de estabilidad y flujo, sobre muestras compactadas.

2.3.7. Protocolo Kyoto. Carbon trade watch. .(s.f) *Los Vínculos del CO2.*Recuperado de <http://www.carbontradewatch.org/carbon-connection-es/que-es-el-protocolo-de-kyoto.html>

Para responder a la amenaza del cambio climático, la ONU aprobó en 1997 el Protocolo de Kyoto, que fue ratificado por 156 países y, finalmente, rechazado por los mayores contaminantes del mundo: Estados Unidos y Australia. El Protocolo establece el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en una media del 5,2 por ciento con respecto a los niveles de 1990 para el año 2012. El comercio de emisiones, el principal mecanismo para alcanzar esta meta, fue impulsado por los Estados Unidos a raíz de la fuerte presión de las grandes empresas. El acuerdo divide y privatiza la atmósfera como si fueran parcelas e instituye un mecanismo de compra y venta de 'permisos de contaminación' como si se tratara de una mercancía cualquiera.

2.3.8. Palma aceitera. Quesada, H.(s.f) *Cultivo e industria de la palma palma aceitera.* Recuperado de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_palma.pdf.

La palma aceitera es una planta perenne, cultivada por su alta productividad de aceite. La especie tiene tres variedades: Dura, tenera y pisifera; de ellas la variedad tenera es la que se utiliza comercialmente para la extracción del aceite y es un cruce entre las otras dos variedades. La palma africana es una especie monoica que produce inflorescencias masculinas y femeninas por separado (ciclos femeninos y masculinos alternos de manera que no ocurren autofecundaciones). Con el concurso de polen de otras plantas vecinas, una inflorescencia femenina se convierte en un racimo con frutos maduros, de color rojo amarillentos, después de cinco meses a partir de la apertura de las flores. El número de racimos y de hojas producidas por palma por año es variable, de acuerdo a la edad y a los factores genéticos. A la edad de cinco años, se espera que una palma produzca catorce racimos por año, con un peso promedio de 7 kg./racimo; a los ocho años se estima que el número de racimos producidos es de ocho con un peso de 22 kg. Cada uno.

2.3.9. Aceite crudo de palma. Cenipalma (Abril,2013).*Fedepalma.Guía sobre el aceite de palma y sus aplicaciones.*Recuperado de <http://www.portalpalmero.com/sites/default/files/Gu%C3%ADa%20aceite%20de%20palma%20y%20aplicaciones.pdf>.

Su origen se ubica en el golfo de Guinea en el África occidental. De ahí su nombre científico, *Elaeis guineensis* Jacq., y su denominación popular: palma africana de aceite. Su introducción a la América tropical se atribuye a los colonizadores y comerciantes esclavos portugueses, que la usaban como parte de la dieta alimentaria de sus esclavos en el Brasil.

2.3.10. EG-2013. Perleche,J. y Vilchez,A. *Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de cal hidratada en el departamento de Lambayeque.*(Tesis en Ingeniería civil ,Universidad Señor de Sipán).(Acceso el 2015)

Es el manual técnico de las carreteras elaborado por el Ministerio de Transporte y Tele Comunicaciones, ellos han establecidos especificaciones técnicas para el diseño y construcción de carreteras.

Sobre las mezclas asfálticas en caliente, el manual afirma que “Este trabajo consistirá en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente y su colocación en una o más capas sobre una superficie debidamente preparada e imprimada, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con el Proyecto.” Es decir, se va a diseñar un pavimento para cierta mezcla de asfáltica para poder cubrir las necesidades del proyecto.

2.3.11. EAL: Chávez,J y Herna,E. *Elaboración de mezclas asfálticas con partículas de caucho reciclado en el departamento de Lambayeque.* (Tesis en Ingeniería civil, Universidad Señor de Sipán).(Acceso el 2015)

El daño a la estructura del pavimento debido a las cargas por eje se expresa típicamente como el daño de la carga de un eje estándar “EAL” (por sus siglas en inglés Equivalent Axle Load, es el equivalente de carga por eje). Esta carga por eje estándar es una carga por eje simple de 8,16 t (80kN).

CAPÍTULO III:
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación.

Tipo de investigación.

3.1.1. Tipo de Investigación

De acuerdo al fin que se desea alcanzar, la presente investigación se clasifica en una Investigación Cuantitativa, Cuasi Experimental ya que se planteó el procedimiento para el diseño de una mezcla asfáltica tibia utilizando aceite crudo de palma (ACP).

3.1.2. Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación que se usó es el Experimental, porque se realizó ensayos en laboratorio, para obtener propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica

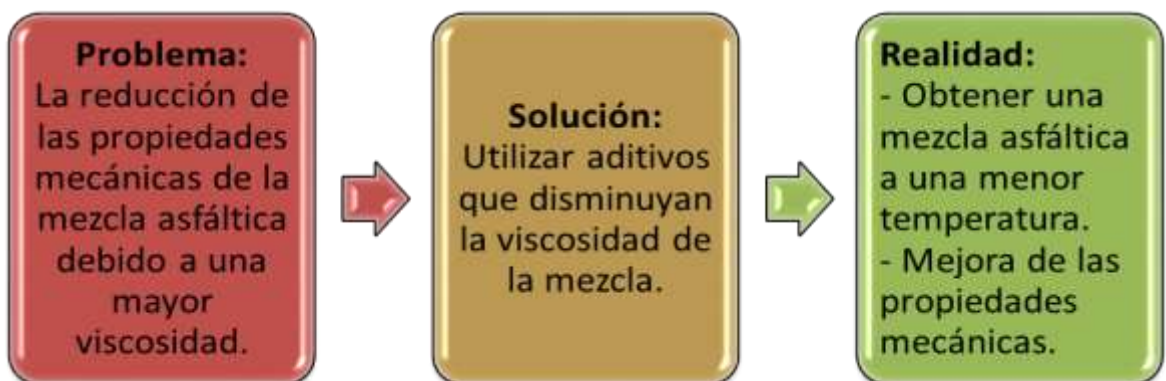


Figura 4: Diseño de Investigación.
Fuente: Elaboración propia.

3.2. Población y muestra.

Se ensayó con 03 briquetas para cada tipo de tránsito (liviano, medio y pesado) y se empleó 2 tipos de Aceite Crudo de Palma (ACP) en cantidades de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% con respecto al peso del asfalto. Obteniendo 90

briquetas por adición de Aceite Crudo de Palma. A estas se les sumaron las 09 briquetas patrón de las mezclas en caliente convencionales.

El total de briquetas fueron de 99 briquetas.

Tabla 3:
Número de Briquetas a realizar

Dosificación de Aceite de Palma (%)	Tipos de Tránsito					
	Aceite de Palma Tipo A			Aceite de Palma Tipo B		
	Tránsito Liviano	Tránsito Medio	Tránsito Pesado	Tránsito Liviano	Tránsito Medio	Tránsito Pesado
0.50	3	3	3	3	3	3
1.00	3	3	3	3	3	3
1.50	3	3	3	3	3	3
2.00	3	3	3	3	3	3
2.50	3	3	3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Hipótesis.

La adición de aceite crudo de palma mejora las propiedades mecánicas (Estabilidad y Flujo) de la mezcla asfáltica, pudiendo así trabajarse a una menor temperatura con mejores características de estas propiedades.

3.4. Variables.

Variable Interviniente: Estructura de la mezcla asfáltica.

Variable Dependiente: Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Variable Independiente: Aceite crudo de palma.

3.5. Operacionalización.

Tabla 04:
Operacionalización de Variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumentos de Recolección de Información	Instrumentos de Medición
Variable Interviniente: Estructura de la mezcla asfáltica	Estructura	Cemento Asfáltico	Análisis de Documentos	Catalogo Técnico del Fabricante	Balanza de precisión
		Agregados	Observación	Catalogo Técnico del Fabricante	Tamices y Balanza de precisión
Variable Dependiente: Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica	Propiedades	Estabilidad	Observación	Catalogo Técnico del Fabricante	Método Marshall
		Flujo	Observación	Catalogo Técnico del Fabricante	Método Marshall
		Viscosidad	Observación	Catalogo Técnico del Fabricante	Viscosidad Saybolt
Variable Independiente: Aceite de Palma	Propiedades	Dosificación (0.5-1.5%)	Análisis de Documentos	Guía de Documentos	Método AOCS

Fuente: Elaboración propia

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.6.1. Métodos de investigación.

Lopera, C. (2011) este autor contribuyo notoriamente en esta tesis ya que su artículo científico fue una partida para esta investigación ya que pudimos concluir y adaptarnos a nuestras pautas, reglamento e nuestro país y su metodología de investigación que utilizo en su investigación.

Deductivo: Se refiere cuando se infiere algo a partir de estándares establecidos.

Análítico: En la investigación se hizo uso del análisis para cada componente de las mezclas asfálticas con sus resultados.

Sintético: En la investigación se procedió de la causa a los efectos, que es la adición del aceite y su consecuencia en la mezcla asfáltica.

3.6.2. Técnicas de recolección de datos.

Lopera, C. (2011) este autor en su investigación analizó documentos con la norma técnica específica para este tipo de investigación lo cual contribuyo a esta investigación para poder observar los parámetros a los que tenemos que basarnos en las propiedades de nuestros agregados y mezcla asfáltica.

Análisis de documentos: Se usó esta técnica para obtener información a partir de documentos que contienen procedimientos y datos estándar.

Observación: Con esta técnica se obtuvieron los resultados (cuantitativos) de las propiedades de la mezcla asfáltica y agregados.

3.6.3. Instrumentos de recolección de datos.

Guía de Documentos: Se usó la normatividad del MTC, la cual establece la metodología adecuada para el desarrollo de los ensayos de laboratorio.

Guía de Observación: Se usaron los formatos de registro para completar los datos de cada ensayo que se realizó.

3.7. Procedimiento para la recolección de datos.

3.7.1. Diagrama de Flujo de Procesos.



Figura 5: Diagrama de Procesos.
Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Descripción de los procesos.

3.7.2.1. Adquisición de Materiales.

Los materiales necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación, se obtuvieron:

El asfalto se obtuvo de la planta de asfalto “La Pluma” del Gobierno Regional de Lambayeque.

Los Agregados grueso y fino también provenientes de la planta de asfalto “La Pluma” del Gobierno Regional de Lambayeque.

Y por último un tipo de aceite crudo de palma (ACP) que se utilizó fue de tipo industrial (ACP Tipo A) que se obtuvo de la empresa Industrias del Espino S.A. y el otro fue de tipo artesanal (ACP Tipo B).

3.7.2.2. Elaboración de Ensayos.

Se desarrollaron una serie de ensayos que se describen a continuación:

A. Análisis Granulométrico por Tamizado.

a. Objetivo.

La clasificación de las partículas mayores que 75um (pasan y retenidas en el tamiz N°200) se efectuará por tamizado.

b. Equipo.

Tamices de malla cuadrada, del 75 mm (3") hasta la 0,075 mm (N°200).

Dos balanzas.

Estufa.

Envases adecuados.

c. Procedimiento.

Se preparará una muestra para el ensayo la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado.

La fracción retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) Se determinará utilizando una serie de tamices tales como 75 mm (3"), 50 mm (2"), 38,1 mm (1½"), 25,4 mm (1"), 19,0 mm (¾"), 9,5 mm (3 /8"), 4.7 mm (N° 4). El tamizado consiste en mover el tamiz de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla.

La fracción fina se hará por tamizado y/o según las características de la muestra y según la información requerida. La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200) se analizará por tamizado en seco lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).

d. Resultados.

Los resultados se presentarán en forma tabulada, o en forma gráfica, debe obtenerse estos valores según norma: *25.0 a 19.0 mm (1" a 3/4"); 19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8 "); 9.5 a 4.75 mm (3/8" a No. 4); 4.75 a 2.36 mm (No. 4 a No. 8); Y pasa 2.36 mm (No. 8)"*

e. Normatividad del ensayo.

Este ensayo está basado en las normas, N.T.P. 339.128 y ASTM D422.

B. Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico.

a. Objetivo.

La determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo

b. Equipo.

Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.

Copa de Casagrande

Balanza, con aproximación a 0.01 g.

Horno o Estufa

Espátula, de hoja flexible,

Envases, adecuados para el manejo y secado de las muestras.

c. Procedimiento.

Se cuartea la muestra seca, de unos 15 g de la porción de suelo, tamizará por el tamiz N° 40, en este caso solo se cogerá lo pasante.

Se hecha en un recipiente al cual se le agrega agua destilada hasta quedar como una mezcla pastosa. Luego de tener una mezcla pastosa se tapa con una bolsa durante 24 horas para hermetizar.

Luego se procede a realizar dos ensayos que son para el límite líquido y el límite plástico:

Límite líquido.

Para este ensayo se necesita la copa Casagrande, con este equipo se puede obtener el límite líquido de dos formas: unas es el punto y la otra es del multipunto.

Para el ensayo del punto (consta de 30 – 20), Se empieza calibrando la copa de Casagrande, la caída libre debe de ser de 10mm (1cm) La prueba deberá efectuarse en un cuarto húmedo, un ambiente seco afectará la exactitud de la prueba.

Límite plástico.

Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros, si hasta llegar antes del cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso.

d. Resultados

Los resultados se presentarán en forma tabulada, o en forma gráfica, obteniendo así la curva de fluidez. Si el número de golpes para que se cierre la zanja es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido.

Max IP= 4% pasante N°200

NP pasante malle 40

e. Normatividad del ensayo.

Este ensayo está basado en las normas, N.T.P. 339.129 y ASTM D4318.

C. Equivalente de Arena.

a. Objetivo.

Obtener el porcentaje de materiales finos indeseables, principalmente las arcillas que son los materiales que en contacto con el agua le provocan daños al pavimento.

b. Equipo.

Un recipiente cilíndrico de aproximadamente 57 mm (2 ¼ ") de diámetro teniendo una capacidad de 85 ± 5 ml.

Tamiz No. 4.

Botellas, 2 de 3.8 L (1.0 gal) para almacenar la solución de existencia y de trabajo.

Embudo, boca ancha, para transferir la muestra dentro del cilindro graduado.

Agitador Mecánico para Equivalente de Arena, designado para sostener el cilindro plástico graduado requerido en una posición horizontal, aunque está sujeto a un movimiento recíproco paralelo a su longitud y teniendo una carrera de 203.2 ± 1.0 mm (8 ± 0.04 ".), operando a 175 ± 2 cpm.

Recipiente metálico.

c. Procedimiento para la muestra.

Tener al menos 1 500 g de material que pase el tamiz de 4,76 mm (No. 4), de la siguiente forma: Separando la muestra por tamizado a mano o por medio de un tamizador mecánico se deben desmenuzar todos los terrones de material fino.

Para determinar la cantidad del material para el cuarteo, se pesará o se determinará el volumen de una porción de material igual a 4 moldes de medida.

d. Procedimiento.

Se vierte solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro de plástico graduado, Con ayuda del embudo, viértase la muestra de ensayo en el cilindro graduado.

Golpéese varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente.

Después de soltar el material del fondo, agítase el cilindro.

Inmediatamente después de la operación de agitación, colóquese el cilindro verticalmente sobre la mesa de trabajo y remuévase el tapón.

Durante el procedimiento de irrigación manténgase el cilindro vertical y la base en contacto con la superficie de trabajo.

Déjese el cilindro y el contenido en reposo por $20\text{min} \pm 15\text{s}$.

Al finalizar los 20 minutos del período de sedimentación, léase y anótese el nivel de la parte superior de la suspensión arcillosa. Por último, se procede a Determinación de la lectura de la arena. Y con esto luego se podrá obtener la relación entre estas dos lecturas y así la finalidad del ensayo.

e. Resultados.

El equivalente de arena se calculará con aproximación al décimo (0.1%),

Para obtener el promedio de una serie de valores de equivalente de arena, promédiese el número de valores enteros determinados como se describió anteriormente. Equivalente Arena Resultante debe ser redondeada al número inmediato superior. Min: 60%

f. Normatividad del ensayo.

Este ensayo está basado en las normas, N.T.P. 339.146 y ASTM D2419.

D. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.

a. Objetivo.

La determinación de los pesos específicos aparente y nominal, así como la absorción.

b. Equipo.

Balanzas, con capacidad igual o superior a 5000 g.

Canastillas metálicas.

Dispositivo de suspensión, Se utilizará cualquier dispositivo que permita suspender las canastillas de la balanza, una vez sumergida.

c. Procedimiento para la muestra.

Se comienza por mezclar completamente los agregados, cuarteándolos, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, después de eliminar el material inferior a 4.75 mm.

d. Procedimiento:

La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas se secan en una estufa. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante.

Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un pifio absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca.

Luego, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergida en el agua, a la temperatura entre 21° y 25 °C y un peso unitario de $0.997 \pm 0.002 \text{ g/cm}^3$.

Se seca entonces la muestra en horno a 100° - 110 °C, se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco hasta peso constante.

e. Resultados.

Se calculan los pesos específicos aparente, saturado con superficie seca y nominal, así como la absorción, por medio de las expresiones mostradas más adelante en el ítem de Formula. Debe presentar una. Absorción máxima 1%.

f. Normatividad del ensayo.

Este ensayo está basado en las normas, N.T.P. 400.021 y ASTM C- 127.

E. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.

a. Objetivo.

La determinación del peso específico aparente y real, así como la absorción después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño inferior a 4.75 mm (tamiz No. 4).

b. Equipo.

Balanzas, con capacidad igual o superior a 5000g.

Matraz aforado o picnómetro

Molde cónico

Varilla para apisonado, metálica, recta.

c. El procedimiento para la muestra.

Se comienza homogeneizar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior a 4.75 mm (tamiz No. 4), se selecciona, por cuarteo, una cantidad aproximada de 1 Kg.

d. Procedimiento.

La muestra se seca al horno a una temperatura de 100 -110°C, se enfría luego al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas, vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante y luego se cubre la muestra completamente con agua durante 24 horas.

Después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de desecar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire caliente, mientras se agita continuamente para que la desecación sea uniforme, y continuando el secado hasta que las partículas puedan fluir libremente.

Cuando se empiece a observar visualmente que se está aproximando el agregado a esta condición, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, echando en su interior a través de un embudo y sin apelmazar, una cantidad de muestra suficiente, que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, levantando a continuación, con cuidado, verticalmente el molde.

Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, 500.0 g del agregado fino.

Se saca el agregado fino del matraz y se deseca en el horno a 100 - 110 °C, hasta peso constante; se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 1-½ horas y se determina finalmente su peso seco.

e. Resultados.

Se calculan los pesos específicos aparente, saturado con superficie seca y nominal, así como la absorción, por medio de las expresiones mostradas más adelante en el ítem de Fórmula. Debe presentar una absorción máxima de 0.5%.

f. Normatividad del ensayo

Este ensayo está basado en las normas, N.T.P. 400.022 y ASTM C- 128.

F. Peso Unitario Suelto y Compactado.

a. Objetivo

Determinar el peso unitario suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados, ya sean finos, gruesos o una mezcla de ambos.

b. Equipo.

Balanzas.

Varilla compactadora

Recipientes de medida, metálicos, cilíndricos

Varilla para apisonado, metálica, recta.

c. El procedimiento para la muestra.

El agregado debe colocarse en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo.

Cada una de las capas se empareja con la mano y se apisona con 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente en cada capa, utilizando el extremo semiesférico de la varilla.

Al apisonar la primera capa, debe evitarse que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, se aplica la fuerza necesaria para que la varilla solamente atraviese la respectiva capa.

Una vez colmado el recipiente, se enrasa la superficie con la varilla, usándola como regla, y se determina el peso del recipiente lleno, en kg (lb).

d. Resultados.

Peso unitario de los agregados, o sea el cociente entre el peso de las muestras dentro del recipiente y el volumen de éste en kg (lb).

% Vacíos en los agregados compactados por apisonado.

% Vacíos en los agregados compactados por vibrado.

Vacíos en los agregados sueltos, llenados a paladas.

e. Normatividad del ensayo.

Este ensayo está basado en las normas, N.T.P. 400.017.

G. Abrasión de los Ángeles al Desgaste de los Agregados.

a. Objetivo.

Determinar la resistencia a la fragmentación (desgaste) del árido grueso. Mide la pérdida de masa que sufre un árido al estar sometido a un proceso continuo de desgaste.

b. Equipo

Balanzas.

Estufa, que pueda mantener una temperatura uniforme de 110°C.

Recipientes de medida, metálicos, cilíndricos

Máquina de Los Ángeles

Carga abrasiva. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm (1 13/16") y 47.63 mm (1 7/8") y un peso comprendido entre 390g y 445g.

c. El procedimiento para la muestra.

La muestra consistirá en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110 °C (221 a 230°F), separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicada.

d. Procedimiento.

La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500.

La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito.

Cuando el agregado esté libre de costras o de polvo, puede eliminarse la exigencia del lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida, en más del 0.2% del peso de la muestra original.

e. Resultados.

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original. El máximo debe ser de: Max: 40%.

f. Normatividad del ensayo.

Este ensayo está basado en las normas, MTC E 2007- 2000 y ASTM C-131.

H. Porcentaje de Caras fracturadas.

a. Objetivo.

Determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una, dos o más caras fracturadas de las muestras de agregados pétreos.

b. Equipo

Balanzas. Tamices de 37.5, 25.0, 19.0, 12.5 y 9.5 mm (1 1/2", 1", 3/4" y 1/2" y 3/8").

Cuarteador, para la obtención de muestras representativas.

Espátula, para separar los agregados.

c. Procedimiento para la muestra.

La muestra para ensayo deberá ser representativa y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida.

Sepárese por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 3 7.5 mm y 9.5 mm (1 1/2" y 3/8").

d. Procedimiento.

Esta muestra se extenderá en un área grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario lávese el agregado sucio, Esto facilitará la inspección y detección de las partículas fracturadas.

Preparando tres recipientes: separar con una espátula, las partículas redondeadas y las que tengan una, o más de dos caras fracturadas. Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como "partícula fracturada". Una partícula se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada.

Pesar los dos recipientes con las partículas fracturadas y anótese este valor. Tenga en cuenta la suma del peso de los dos recipientes, cuando determine las partículas con una sola cara fracturada.

e. Resultados.

Se calculan los pesos específicos aparente, saturado con superficie seca y nominal, así como la absorción, por medio de las expresiones mostradas más adelante en el ítem de Formula. El mínimo debe ser: Min: 50%.

f. Normatividad del ensayo.

Este ensayo está basado en las normas, MTC E 210 y ASTM C-131.

3.7.2.3. Determinación de las proporciones de la mezcla asfáltica.

Consiste en definir la cantidad de agregados que le corresponde a la MAC convencional según cada tipo de tránsito, con el fin de determinar una gradación que se encuentre entre los parámetros establecidos por la norma. Esto se hace tomando como referencia el peso promedio de una briqueta de 1200 gr.

3.7.2.4. Adición del ACP a la mezcla asfáltica.

Tras la obtención de las proporciones de agregados que le corresponden a la mezcla asfáltica tradicional, se procede a adicionar el aceite crudo de palma (ACP) en determinados porcentajes con el fin de lograr una interacción entre éste y el asfalto.

3.7.2.5. Ensayos de Estabilidad y Flujo.

Estos ensayos consisten en determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas para pavimentos. El procedimiento se emplea para el proyecto de mezclas en el laboratorio.

Finalmente, con este ensayo se obtiene:

- ✓ Tipo de muestra ensayada (núcleo de un pavimento).
- ✓ Valor promedio de la máxima carga en Kilo Newton (KN) de por lo menos tres especímenes, corregido cuando se requiera.
- ✓ Valor promedio del flujo, en 0.25 mm (0.01") de tres especímenes.
- ✓ Temperatura de ensayo.

3.8. Plan de análisis estadístico de datos.

Tomando como referencia la norma MTC E 504, el porcentaje óptimo de asfalto (necesario para la briqueta piloto) en una MAC, se obtiene preparando una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (incrementos de 0.5% en peso, entre ellos), de tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor "Óptimo" definido, con puntos de cada lado de este valor para los 3 tipos de tránsitos.

Como mínimo se prepararán tres probetas para cada contenido. El porcentaje óptimo viene a ser la briqueta que con menos contenido de asfalto cumpla con los requisitos establecidos por el MTC para la estabilidad y flujo de la MAC.

Es así que el plan estadístico de la actual investigación se basa en hacer curvas, con los resultados de estabilidad y flujo de 3 briquetas por variación de contenido de aceite de palma, hasta alcanzar resultados que cumplan con los parámetros obtenidos.

Los programas a usar serán:

MICROSOFT EXCEL 2013.

MICROSOFT WORD 2013.

SPSS22

3.9. Principios éticos.

La realización de recolección de datos se hizo con veracidad, no se falsificó ningún dato o resultado en esta investigación, ya que se desea dejar un buen precedente con información veraz para la orientación y base de trabajos afines en el futuro para cualquier tipo de caso. Al mismo tiempo se comprobó con credibilidad los resultados con el programa estadístico establecido. Estos datos que se obtuvieron se verificaron y confirmaron que las teorías planteadas son conformes, por lo que se pueden aplicar en ejecuciones de obras y/o futuras investigaciones para dar paso a más teorías que ayuden a implementar y a sustituir métodos convencionales. La confidencialidad de este documento, sus anexos tanto como sus tablas estadísticas, se dará a conocer al público siempre y cuando esta investigación esté debidamente publicada.

3.10. Criterios de rigor científico.

3.10.1. Generalidades. Perleche,J. y Vilchez,A. *Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de cal hidratada en el departamento de Lambayeque.*(Tesis en Ingeniería civil ,Universidad Señor de Sipán).(Acceso el 2015)

Mediante la aplicación de las entrevistas se obtuvo respuestas en función al cuestionario, que nos permitieron dar validez externa después de haber sido comparadas con otras fuentes teóricas. Las generalidades de esta investigación son tal cual los pasos seguidos en esta investigación ya que solo cambia el insumo utilizado (aceite crudo de palma), para estas, hemos optado por desglosar nuevamente cada parte de las generalidades y hablar de cada una de ellas para especificar exactamente lo escrito en esta tesis y así dar una mejor explicación a los resultados obtenidos en laboratorio y dar conocer las conclusiones.

3.10.2. Fiabilidad. Perleche,J. y Vilchez,A. *Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de cal hidratada en el departamento de Lambayeque.*(Tesis en Ingeniería civil ,Universidad Señor de Sipán).(Acceso el 2015)

Todos los estudios a realizar en el proyecto, son confiables en la medida en la que nuestra población es real, se cuenta con un buen Aparato Marshall para recolección de datos lo que nos da la seguridad en la veracidad de los resultados. Sus fuentes teóricas parten del mismo sistema de investigación para esta tesis ya que parten de la norma técnica peruana para el uso de diseño de mezclas asfálticas y está también con nuestras fuentes y bases teóricas, por eso la de esta investigación cuenta con la mayor dedicación e integra credibilidad.

3.10.3. Replicabilidad. *Autoría propia.*

El diseño de nuestro proyecto fue sometido a factores tecnológicos que van a contribuir con los resultados a obtener comparándolo con la norma técnica peruana para darle la credibilidad óptima para que pueda ser usado en cualquier tipo de investigación o diseño específico de una mezcla asfáltica en tibio. Si se cuenta con los equipos adecuados para los ensayos en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos por lo que resultó más fácil y conveniente realizar esta investigación y obtener los valores de las propiedades estudiadas (Estabilidad y flujo) para la mezcla asfáltica en tibio modificado con aceite crudo de palma.

CAPÍTULO IV:
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN
DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados en tablas y figuras

A continuación, se presentan los ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos de la universidad Señor de Sipán, de los cuales se realizaron primero los ensayos de los agregados para poder comprobar que cumplan con los requerimientos mínimos y máximos especificados en las normas antes mencionadas.

4.1.1 Ensayos de calidad realizados a los agregados

4.1.2 Análisis Granulométrico por Tamizado (N.T.P. 339.128 y ASTM D422).

El Análisis Granulométrico es uno de los ensayos más importantes de los agregados, ya que determina la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados, por medio de los porcentajes de agregados que pasan por los diferentes tamices empleados.

Para el ensayo se hizo uso de 2 series de tamices, una retenida en el tamiz de 4.760 mm (N° 4) para el agregado grueso y otra que pasa dicho tamiz en el caso del agregado fino. Ambas series se ensayaron por separado.

Valle, R. (1976). Los tamaños típicos usados en el análisis granulométrico para mezclas asfálticas en caliente son: 2"; 1 ½"; 1"; ¾"; ½"; 3/8"; N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100y N°200 (50.8 mm; 38.0 mm; 25.4mm; 19.0 mm; 12.5 mm; 9.5 mm; 4.75 mm; 2.36 mm; 1.18 mm; 0.6 mm; 0.3 mm; 0.15 mm; y 0.075 mm, respectivamente).

Para la granulometría del **agregado grueso** usado se obtuvieron los siguientes resultados:

El peso de la muestra fue de 2990.70 gr.

Tabla 5:

Análisis granulométrico del agregado grueso

Tamices Ø	Tamaño (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.0
1/2"	12.500	743.20	24.85	24.85	75.1
3/8"	9.500	703.40	23.52	48.37	51.6
Nº 4	4.750	1241.80	41.52	89.89	10.1
Nº 8	2.360	297.00	9.93	99.82	0.2
Nº 16	1.180	0.25	0.01	99.83	0.2
Nº 30	0.600	0.10	0.00	99.83	0.2
Nº 50	0.300	0.10	0.00	99.84	0.2
Nº 100	0.150	0.15	0.01	99.84	0.2
Nº 200	0.075	0.64	0.02	99.86	0.1
FONDO		4.06	0.14	100.00	0.0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 05 se observan los resultados obtenidos, de los cuales se usará la columna del % Que Pasa para la elaboración de la figura 06 para una mejor apreciación y entendimiento de los resultados.

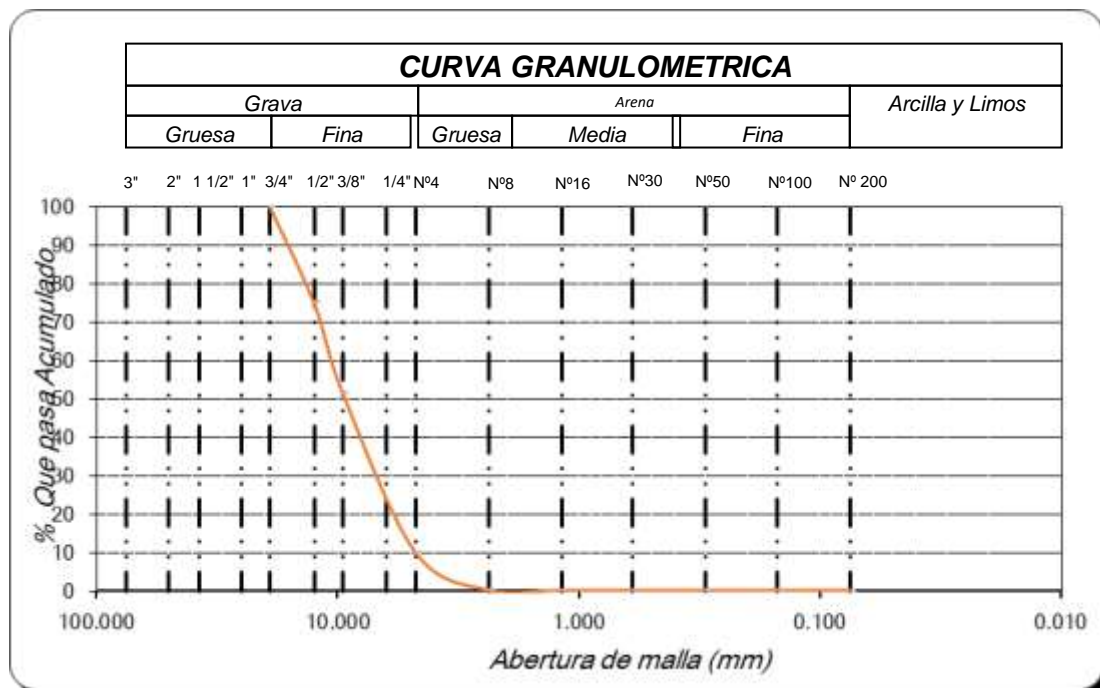


Figura 06: Figura de Curva Granulométrica del Agregado Grueso

Fuente: Elaboración propia

De la figura 06 obtenida de la Tabla 05 se puede apreciar que el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de ¾", un tamaño de agregado grueso adecuado para el uso en mezclas asfálticas.

En el caso de la granulometría del **agregado fino** usado se obtuvieron los siguientes resultados:

El peso de la muestra fue de 353.20 gr.

Tabla 06: *Análisis Granulométrico del Agregado Fino*

Tamices Ø	Tamaño (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
Nº 4	4.750	0.00	0.00	0.0	100.0
Nº 8	2.360	20.13	5.70	5.7	94.3
Nº 16	1.180	79.93	22.63	28.3	71.7
Nº 30	0.600	84.54	23.94	52.3	47.7
Nº 50	0.300	58.12	16.46	68.7	31.3
Nº 100	0.150	41.77	11.83	80.5	19.5
Nº 200	0.075	25.14	7.12	87.7	12.3
FONDO		43.57	12.34	100.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

De igual forma que el agregado grueso, en la Tabla 06 del agregado fino se aprecian los resultados obtenidos, de los cuales se usarán los de la columna % Que Pasa para la elaboración de la figura 09 para una mejor apreciación y entendimiento de los resultados.



Figura 7 y 8: Tamizado del material fino para el ensayo de granulometría.

Para el caso del ensayo de Límite Líquido se hizo uso de la copa Casagrande por el método de un punto, usándose para este caso la siguiente fórmula:

$$\text{Límite Líquido} = \% \text{ de Humedad} \times \frac{N^{\circ} \text{ golpes}^{0.121}}{25}$$

En el caso del ensayo de Límite Plástico se moldea la muestra en forma de elipsoide sobre una superficie lisa, hasta que ésta obtenga un diámetro de unos 3.20 mm (1/8”).

Los resultados obtenidos para estos 2 ensayos son los siguientes:

Tabla 7:
Datos de los Ensayo de Limite Líquido y Plástico

Datos de Ensayo			Límite Líquido	Límite Plástico	
1.	Nº de Tara		1	2	3
2.	Nº de Golpes	g.	30	 	
3.	Peso de muestra húmeda + tara	g.	60.75	16.26	14.93
4.	Peso de muestra seca + tara	g.	51.99	14.97	13.82
5.	Peso del agua	g.	8.76	1.29	1.11
6.	Peso de tara	g.	12.77	8.06	7.71
7.	Peso de muestra seca	g.	39.22	6.91	6.11
8.	Contenido de humedad	%	22.34	18.67	18.17

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados del ensayo de Límite Líquido y Plástico, se procede a calcular el Índice de Plasticidad con la diferencia entre los dos límites antes mencionados, el material pasante por la malla Nº 200 según el MTC debe tener un 4% como máximo.

Tabla 8:
Resultados de los Ensayo de Limite Líquido y Plástico

Límite Líquido	%	22.34
Límite Plástico	%	18.42
Índice de Plasticidad	%	3.92

Fuente: Elaboración propia

Se observa que se obtuvo un porcentaje menor a 4% especificado en el MTC por lo que cumple con los parámetros de plasticidad.



Figura 10: Ensayo de límite líquido con el instrumento Casagrande.



Figura 11 y 12: Ensayo de Limite Plástico con la muestra moldeada y pesada lista para su secado.

4.1.4 Equivalente de Arena (N.T.P. 339.146 y ASTM D2419).

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N^o4 (4.75 mm).

Para determinar el porcentaje de finos en una muestra, se incorpora una medida del agregado fino y solución en una probeta plástica graduada que luego de ser agitada por un tiempo determinado separa el recubrimiento de finos de las partículas de arena; después de un período de tiempo, se pueden

leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

Según el MTC en su “Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013” sección 423 tabla N°2, nos da como valor mínimo 60 %.

Éste ensayo se realizó para 3 probetas y son los siguientes:

Tabla 9:
Resultados del Ensayo Equivalente de Arena

Muestra	1	2	3
Hora de Entrada	00:00	00:03	00:06
Hora de Salida	00:10	00:12	00:14
Hora de Entrada	00:11	00:13	00:15
Hora de Salida	00:31	00:33	00:35
Altura Máxima de finos (Pulg)	5.15	5.00	5.10
Altura Máxima de arena (Pulg)	3.00	3.10	3.05
Equivalente de Arena	59.00	62.00	60.00
Promedio	60.40		
% Mínimo MTC	60		

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la Tabla 9 que el promedio de los resultados de los ensayos es 60.40 % por lo que cumple con los estándares fijados en el MTC.



Figura 13: Ensayo de Equivalente de arena, alistando la manguera para que descargue la solución a la muestra.



Figura 14: Probetas con las muestras y la solución listas para su lectura.

4.1.5 Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso (N.T.P. 400.021 y ASTM C- 127).

La muestra fue de aproximadamente 5 kg lavados que hayan sido retenidos en la malla N°4, esta se deja sumergida durante 24 horas, pasado este tiempo se saca del agua y se seca superficialmente con una franela obteniendo así el peso superficialmente seco.

La muestra superficialmente seca se coloca en una canastilla y se sumerge en agua para obtener el peso sumergido en agua. Por último, la muestra se coloca en el horno y se pesa.

De esto se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 10:

Datos del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.

1. Peso de muestra secada al horno (gr)	2497
2. Peso de muestra saturada superficialmente seca (gr)	2521
3. Peso de muestra saturada dentro del agua + peso de canastilla	2453
4. Peso de la canastilla (gr)	920
5. Peso de la muestra saturada dentro del agua (gr)	1533

Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11:

Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.

1. Peso Específico de Masa (gr/cm³)	2.53
2. Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	2.55
3. Peso Específico Aparente (gr/cm³)	2.59
4. Porcentaje de Absorción (%)	0.96

Fuente: Elaboración propia

El MTC en su “Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013” sección 423, para el del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso indica un valor máximo de 1 %, por lo que se está dentro de ese rango como se observa en la Tabla 11.



Figura 15: Peso específico del agregado grueso, muestra lista para el ensayo.

4.1.6 Peso Específico y Absorción del Agregado Fino (N.T.P. 400.022 y ASTM C- 128).

Se toma una muestra de aproximadamente 1 kg de agregado fino, esta se deja sumergida durante 24 horas, pasado este tiempo se extiende sobre una superficie plana y se expone a una corriente de aire caliente. La condición saturada superficialmente seca se alcanza cuando al realizar la prueba del molde cónico el material tenga un desmoronamiento superficial.

Esta se pesa y selecciona aproximadamente 500 gr de la muestra saturada superficialmente seca, se coloca en una fiola que posteriormente se llena de agua, se elimina el aire retenido, finalmente se saca el agregado y se seca al horno. De esto se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 12:

Datos del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.

1. Peso superficialmente seco + peso del frasco + peso del agua(gr)	980.60
2.- Peso superficialmente seco + peso del frasco (gr)	664.00
3.- Peso del agua (gr)	316.60
4.- Peso de la arena secada al horno + peso del frasco (gr)	661.60
5.- Peso del frasco (gr)	164.00
6.- Peso de la arena secada al horno (gr)	497.60
7.- Volumen del frasco (cm³)	500.00
8.- Peso saturado superficialmente seco (cm³)	500.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13:

Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.

1.- Peso Específico de Masa (gr/cm³)	2.71
2.- Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	2.75
3.- Peso Específico Aparente (gr/cm³)	2.75
4.- Porcentate de Absorción (%)	0.48

Fuente: Elaboración propia

El MTC en su “Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013” sección 423, para el del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Fino indica un valor máximo de 0.5 %, por lo que se está dentro de ese rango como



Figura 16 y 17: Ensayo de peso específico del agregado fino y la prueba con el molde cónico ya con la muestra seca.

se observa.



Figura 18 y 19: Peso de la fiola con el agregado fino para concluir con el ensayo de peso específico del agregado fino.

4.1.7 Peso Unitario Suelto y Compactado (N.T.P. 400.017).

Este ensayo se realiza de la misma manera para el agregado grueso como para el fino, la diferencia entre ellos es la dimensión del molde usado para cada agregado.

El **Peso Unitario Suelto** se obtiene de llenar completamente el molde con agregado, ya sea fino o grueso, se enrasa para luego pesarse.

Agregado Grueso:

Tabla 14:

Resultados del Ensayo Peso Unitario Suelto del agregado grueso.

Peso de la Muestra Húmeda	13.29	13.36	kg
Volumen del Molde	0.0095	0.0095	m ³
Peso Unitario Suelto Húmedo	1398.947	1406.316	kg/m ³
Peso Unitario suelto seco	1402.63		kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

Agregado Fino:

Tabla 15:

Resultados del Ensayo Peso Unitario Suelto del agregado fino.

Peso de la Muestra Húmeda	4.03	4.11	kg
Volumen del Molde	0.0028	0.0028	m ³
Peso Unitario Suelto Húmedo	1439.29	1467.86	kg/m ³
Peso Unitario suelto seco	1453.57		kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

El **Peso Unitario Compactado** se realiza de una forma parecida a la anterior, se llena por partes el molde con agregado, ya sea fino o grueso, luego con una varilla de acero lisa, además de realizar los 15 golpes con un martillo de goma al recipiente para acomodar los agregados se enrasa para luego pesarse.

Agregado Grueso:

Tabla 16:

Resultados del Ensayo Peso Unitario Compactado del agregado grueso.

Peso de la Muestra Húmeda	14.61	14.68	kg
Volumen del Molde	0.0095	0.0095	m ³
Peso Unitario Compactado húmedo	1537.89	1545.26	kg/m ³
Peso Unitario Compactado seco	1541.58	kg/m³	

Fuente: Elaboración propia



Figura 20 y 21: Peso unitario del agregado grueso vaciado en su molde antes pesado y después compactado con 25 golpes.

Agregado Fino:

Tabla 17:

Resultados del Ensayo Peso Unitario Compactado del agregado fino.

Peso de la Muestra Húmeda	4.38	4.41	kg
Volumen del Molde	0.0028	0.0028	m ³
Peso Unitario Compactado húmedo	1564.29	1575.00	kg/m ³
Peso Unitario Compactado seco	1569.64		kg/m³

Fuente: Elaboración propia



Figura 22 y 23: Peso unitario del agregado fino vaciado y compactado

4.1.8 Abrasión de los Ángeles al Desgaste de los Agregados (MTC E 2007- 2000 y ASTM C-131).

Este ensayo mide la resistencia de los agregados al desgaste, la importancia de cumplir los parámetros para este ensayo radica en la capacidad de los agregados para transmitir y distribuir los esfuerzos máximos de la carga en la superficie hasta un mínimo en la subrasante.

Según lo normado en el MTC el material usado para este ensayo deberá ser lavado y secado en horno a una temperatura constante de 105 –

110°C, tamizado por las mallas de 1/2" y 3/8", con un peso retenido de 2500 gr cada uno.

Luego de esto se introduce la muestra a la máquina de los Ángeles, regulando las revoluciones a 500. Una vez terminado se pasa el material por la malla N° 12, el retenido se lava y se seca al horno a temperatura constante para al terminar pesar la muestra.

Los resultados del ensayo son los siguientes:

Tabla 18:
Resultados del Ensayo Abrasión de los Ángeles.

MUESTRA	AGREGADO GRUESO
GRADACIÓN	
Peso de la Muestra	
3/4" - 1/2"	2500
1/2" - 3/8"	2500
3/8" - 1/4"	
1/4" - N°4	
N°4 - N°8	
TOTAL DESGASTE	
Peso Inicial	5000
Retenido en la malla N°12	4148
Que pasa en la malla N°12	852
% Desgaste	17.04
Promedio	17.04%

Fuente: Elaboración propia

Según el MTC en su "Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013" sección 423, para el Ensayo Abrasión de los Ángeles al desgaste de los agregados indica un valor máximo de 40 %, por lo que se está dentro de ese rango como se observa en la Tabla 18.



Figura 24 y 25: Ensayo de Abrasión de los ángeles, tamizado y vaciado para ver el desgaste del agregado grueso.

4.1.9 Porcentaje de Caras fracturadas (MTC E 210 y ASTM C-131).

El objetivo es maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre partículas, además de dar estabilidad, fricción y textura a los agregados empleados.

Las partículas irregulares y angulares son las que resisten al desplazamiento en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas.

Este ensayo se realiza de manera visual y consiste en preparar la muestra a usar, esta se lava sobre la malla N° 4 para evitarla presencia de finos, se seca en una superficie plana para poder inspeccionar y verificar si la partícula cumple con el criterio de fractura. Si la cara constituye al menos $\frac{1}{4}$ de la máxima sección transversal, considerarla como cara fracturada.

Los resultados del ensayo son los siguientes:

Tabla 19:
Datos del Ensayo de Caras Fracturadas.

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			1 CARA FRACTURADA			2 O MÁS CARAS FRACTURADAS		
Tamiz (pulg)	Abertura (mm)	Peso Ret	% Ret	% que Pasa	Peso	%	% Corregido	Peso	%	% Corregido
3"	76.200			100	0	0	0	0	0	0
2"	50.800	0	0	100	0	0	0	0	0	0
1 1/2"	38.100	0	0	100	0	0	0	0	0	0
1"	25.400	0	0	100	0	0	0	0	0	0
3/4"	19.050	0	0	100	0	0	0	0	0	0
1/2"	12.70	952.4	63.5	36.5	351.0	36.9	23.4	712.6	74.8	47.5
3/8"	8.750	547.6	36.5	63.5	93.3	17.0	6.2	262.1	47.9	17.5
1/4"	6.350	0			0			0		
	Total	1500.0	100		444.3		29.6	974.7		65.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20:
Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas.

Peso Total de la Muestra (gr)	1500.00
Partículas 1 cara fracturada (%)	29.62
Partículas 2 o más caras fracturadas (%)	64.98
Partículas 0 caras fracturadas (%)	5.40

Fuente: Elaboración propia

4.1.10 Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas (NTP 400.040 y ASTM D-4791):

La norma ASTM D 4791-99 especifica que las partículas chatas y alargadas son aquellas que tienen una relación de longitud a espesor mayor que un valor especificado. Las relaciones largo: espesor que se pueden determinar con esta norma son: 2/1, 3/1, 4/1 y 5/1, en el ensayo por recomendaciones del MTC se tomará la proporción 3/1.

Para la determinación del porcentaje de partículas chatas y alargadas, utiliza un calibrador-comparador de proporciones: de dos postes fijos y un eje móvil. Se fija la longitud y se define a la partícula chata y alargada como aquella que pasa por la abertura menor, prefijada según una proporción determinada. Los resultados de este ensayo se presentan a continuación:

Tabla 21:
Datos del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas.

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
Tamiz (pulg)	Abertura (mm)	Peso Ret.	% Ret.	% que Pasa	Peso	%	% Corregido	Peso	%	% Corregido
3"	76.200			100	0	0	0	0	0	0
2"	50.800	0	0	100	0	0	0	0	0	0
1 1/2"	38.100	0	0	100	0	0	0	0	0	0
1"	25.400	0	0	100	0	0	0	0	0	0
3/4"	19.050	0	0	100	0	0	0	0	0	0
1/2"	12.700	862	41.72	58.28	49.60	5.75	2.40	18.5	2.15	0.90
3/8"	8.750	1204	58.28	41.72	101.20	8.41	4.90	17.4	1.45	0.84
1/4"	6.350	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Total	2066	100		150.80		7.30	35.90		1.74

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22:
Resultados del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas.

Peso Total de la Muestra (gr)	2066
Partículas Chatas y Alargadas (%)	9.04

Fuente: Elaboración propia

Según el MTC en su "Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013" sección 423, para el Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas indica un valor máximo de 10 %, por lo que se está dentro del rango especificado al tener un porcentaje de 9.04% como se observa en la Tabla 22.



Figura 26: Ensayo de partículas chatas y alargadas.

4.1.11 Contenido de Sales Solubles Totales (NTP 339.152).

Como su nombre lo indica el propósito de este ensayo es determinar el contenido de sulfatos, solubles en agua de los agregados pétreos.

El procedimiento consiste en colocar 50 gramos de muestra de material pasante de la malla N° 10 en un recipiente con 500 ml de agua destilada, agitándose durante 1 hora, para posteriormente dejar reposar 1 hora más, luego teniendo cuidado de no derramar el líquido se coloca en un recipiente adecuado para calentar el líquido hasta su punto de ebullición.

Cuando se observe agua cristalina se saca una parte del líquido con una pipeta y se procede a colocar en una vasija previamente pesada, se coloca al horno para dejar secando hasta un peso constante. Finalmente se pesa la vasija tras haberse evaporado el agua. La diferencia entre el peso inicial y el peso final son las sales contenidas en la muestra.

Tabla 23:
Resultados del Ensayo de Sales Solubles.

1	Relación de la mezcla suelo - agua destilada	10	10
2	Número de beaker	M-9	V-3
3	Peso de beaker	53.66	53.76
4	Peso de beaker + residuo de sales	53.69	53.78
5	Peso de beaker + residuo de sales (4)-(3) gr	0.03	0.02
6	Volumen de la solución tomada (ml)	117.00	123.00
7	Constituyentes de sales solubles totales [[(5) x (1000000)] / (6)] x (1) ppm	2564.10	1626.02
8	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco (7) / 10000 (%)	0.256	0.163
	Promedio (ppm)	2095.06	
	Promedio (%)	0.21	

Fuente: Elaboración propia

Según el MTC en su “Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013” sección 423, para el Ensayo de Sales Solubles indica un valor máximo de 0.50 %, por lo que se está dentro

del rango especificado al tener un porcentaje de 0.21% como se observa en la Tabla 23.

4.2 Proporciones de los Agregados y Porcentaje de Óptimo en el Diseño de Mezclas Asfálticas.

4.2.1 Proporciones de los Agregados en la MAC Convencional.

Un diseño de mezclas se basa en encontrar las proporciones de los materiales que intervienen en esta, como es el caso de los agregados presentes en una mezcla asfáltica. Esto se basa en encontrar una proporción de agregados que cumpla con una de las 3 condiciones de MAC (MAC-1, MAC-2 y MAC-3) dadas en el MTC, mediante un análisis granulométrico combinado.

Tabla 24:
Clasificación de las 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: Manual de Carreteras EG – 2013.

Del análisis granulométrico del agregado fino y grueso se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 25:
Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional.

Mallas		Cantera 01	Cantera 02	% que Pasa	Especificaciones	
Pulgadas	Milímetros	51%	49%	Acumulado	MAC - 2	
3"	75.000	100.0	100.0	100.00		
2"	50.000	100.0	100.0	100.00		
1 1/2"	37.500	100.0	100.0	100.00		
1"	25.000	100.0	100.0	100.00		
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.00	100	100
1/2"	12.500	74.4	100.0	86.94	80	100
3/8"	9.500	49.4	100.0	74.19	70	88
Nº 4	4.750	6.90	99.1	52.08	51	68
Nº 8	2.360	0.60	93.6	46.17		
Nº 10	2.000	0.60	90.4	44.60	38	52
Nº 16	1.180	0.60	75.7	37.40		
Nº 20	0.850	0.60	65.2	32.25		
Nº 30	0.600	0.60	51.8	25.69		
Nº 40	0.425	0.60	42.1	20.94	17	28
Nº 50	0.300	0.60	31.8	15.89		
Nº 80	0.180	0.50	27.0	13.49	8	17
Nº100	0.150	0.50	18.5	9.32		
Nº200	0.075	0.50	9.6	4.96	4	8

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a los datos obtenidos de los ensayos granulométricos de los agregados, se determinó usar la MAC-2, que es la que más utilizada, se procedió a combinar ambos materiales en proporciones distintas (2700 gr para el agregado grueso y 340 gr para el agregado fino), hasta poder estar dentro de los parámetros de la curva.

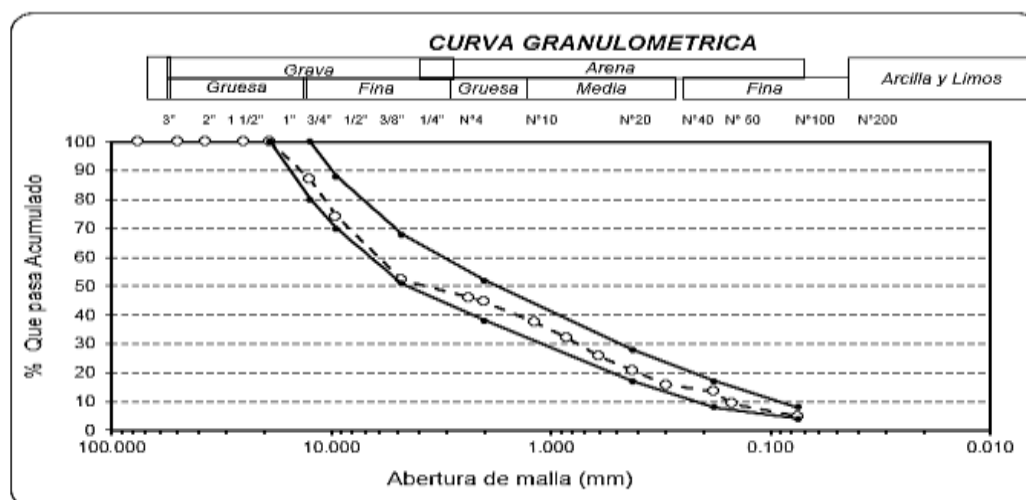


Figura 27: Figura de Curva Granulométrica de la Mezcla Asfáltica Convencional.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la figura 27, la curva de granulométrica combinada está en el rango correcto de la curva para una MAC-2, se observa que se tiene un buen porcentaje de filler el cual es ideal para el diseño de una MAC. De acuerdo al MTC, para obtener el óptimo contenido de asfalto en una MAC se hace un análisis para diferentes porcentajes de asfalto con incrementos de 0.5%, realizando 3 briquetas por cada porcentaje y tipo de tránsito. De acuerdo a referencias bibliográficas revisadas se optó por usar un porcentaje de asfalto de 5.00, 5.50 y 6.00%. A continuación, se muestran las cantidades de los agregados en una briketa convencional de acuerdo a los porcentajes obtenidos anteriormente. Se consideró un peso promedio de la briketa de 1200 gr.

Tabla 26:
Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional – 5% de Asfalto.

Porcentaje de Asfalto: 5.00%	
Peso briketa	1200
% Asfalto	5.00%
Peso Asfalto	60.00
Peso briketa - asfalto	1140.00
Peso piedra	581.40
Peso arena + Filler	558.60
Peso de Filler	13.20
Peso de Arena	545.40
Peso Final de Briketa	1200.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27:
Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional – 5.5% de Asfalto.

Porcentaje de Asfalto: 5.50%	
Peso briketa	1200
% Asfalto	5.50%
Peso Asfalto	66.00
Peso briketa - asfalto	1134.00
Peso piedra	578.34
Peso arena + Filler	555.66
Peso de Filler	13.28
Peso de Arena	542.38
Peso Final de Briketa	1200.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28:
Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional – 6% de Asfalto.

Porcentaje de Asfalto: 6.00%	
Peso briqueta	1200
% Asfalto	6.00%
Peso Asfalto	72.00
Peso briqueta - asfalto	1128.00
Peso piedra	575.28
Peso arena + Filler	552.72
Peso de Filler	13.31
Peso de Arena	539.41
Peso Final de Briqueta	1200.00

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Porcentaje Óptimo de Asfalto.

El porcentaje óptimo de asfalto se obtuvo al ensayar briquetas por diferentes porcentajes de asfalto obteniendo así el óptimo para cada tipo de tránsito.

Tabla 29:
Parámetros de Estabilidad y Flujo del MTC.

Valores del MTC	Estabilidad KN	Flujo
Tránsito Liviano	4.53	8 a 20
Tránsito Medio	5.44	8 a 16
Tránsito Pesado	8.15	8 a 14

Fuente: Manual de Carreteras EG – 2013.

4.2.2.1 Transito Liviano.

Tabla 30:
Contenido Óptimo de Asfalto para Tránsito Liviano.

% Asfalto	ESTABILIDAD	FLUJO
5.00%	6.415	9
5.50%	11.771	19
6.00%	9.409	17

Fuente: Elaboración propia

%Asfalto vs Estabilidad y Flujo

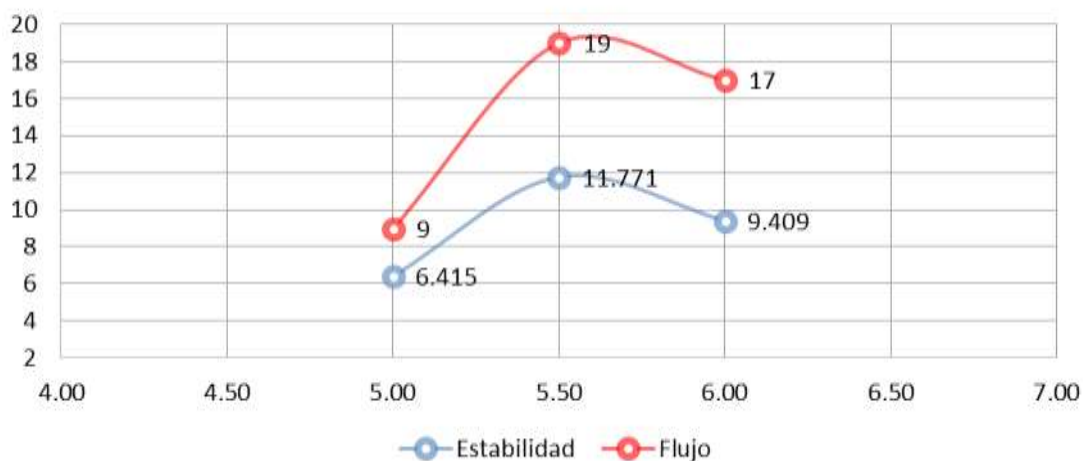


Figura 28: Figura de Contenido de Asfalto de 5.00% - T. Liviano.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de Estabilidad y Flujo presentes en la Tabla 30 son representados de mejor manera en la Figura 28 donde se aprecia que el contenido óptimo para un tránsito liviano es de 5.00%.

4.2.2.2 Tránsito Medio.

Tabla 31:
Contenido Óptimo de Asfalto para Tránsito Medio.

% Asfalto	ESTABILIDAD	FLUJO
5.00%	17.958	12
5.50%	13.734	16
6.00%	17.326	15

Fuente: Elaboración propia

%Asfalto vs Estabilidad y Flujo

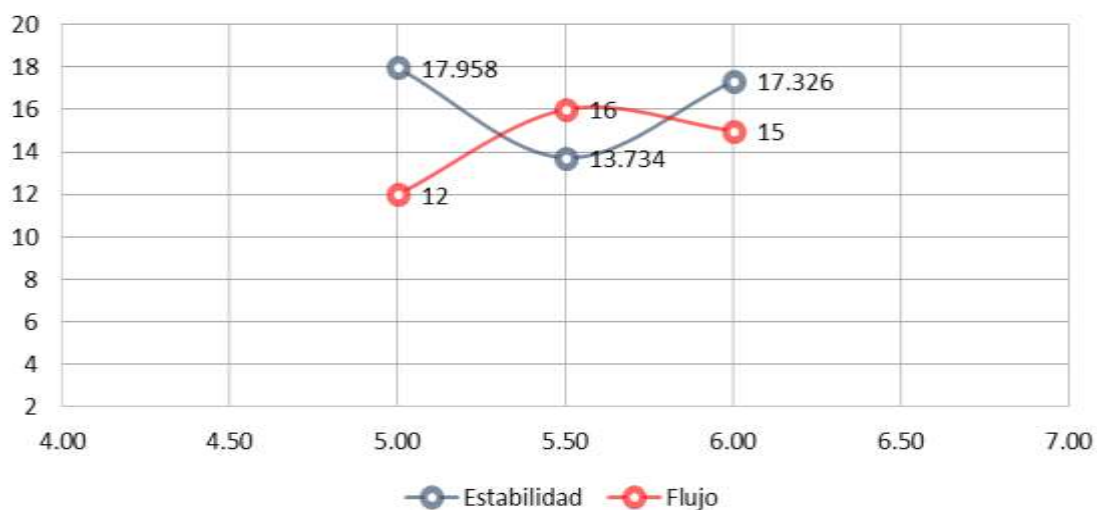


Figura 29: Figura de Contenido de Asfalto de 5.50% - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de Estabilidad y Flujo presentes en la Tabla 31 son representados de mejor manera en la Figura 29 donde se aprecia que el contenido óptimo para un tránsito medio es de 5.50%.

4.2.2.3 Tránsito Pesado.

Tabla 32:

Contenido Óptimo de Asfalto para Tránsito Pesado.

% Asfalto	ESTABILIDAD	FLUJO
5.00%	18.391	11
5.50%	16.727	10
6.00%	20.054	12

Fuente: Elaboración propia

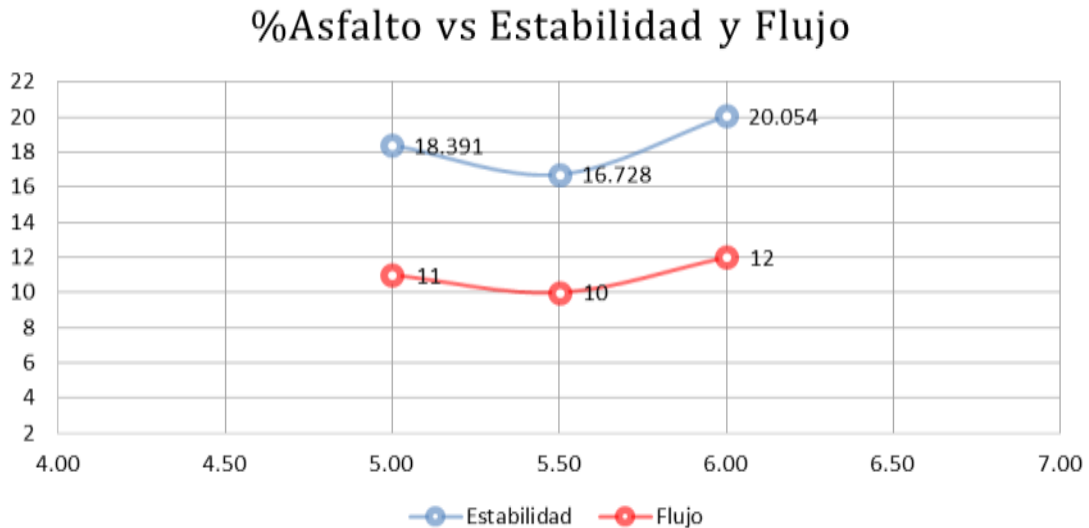


Figura 30: Figura de Contenido de Asfalto de 5.50% - T. Pesado.

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de Estabilidad y Flujo representados en la Figura 31 se aprecia que el contenido óptimo para un tránsito pesado, al igual que el medio, es de 5.50%.

4.3 Estabilidad y Flujo de las MAC Convencionales.

Se analizó el porcentaje de asfalto para cada tipo de tránsito (liviano, medio y pesado) que cumplan con los requerimientos mínimos de Estabilidad y Flujo establecidos en el MTC.

4.3.1 MAC para Tránsito Liviano.

Para este tipo de tránsito se realizaron briquetas con un porcentaje de asfalto de 5.00% (óptimo), compactadas a 35 golpes por cada cara, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 33:*Resultados de MAC – Tránsito Liviano.*

BRIQUETA	% ASFALTO	ESTABILIDAD		FLUJO
		DIVISIONES	KN	
<i>L - 1</i>	5.00 %	255.00	8.58	10.00
<i>L - 2</i>	5.00 %	234.00	7.88	11.00
<i>L - 3</i>	5.00 %	248.00	8.35	10.00
PROMEDIO	5.00 %	245.67	8.27	10.33

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8.27 KN por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito liviano (4.53 KN) y un flujo de 10.33, dentro del rango (8 a 20). Éstos resultados son nuestros valores estándares de una MAC para tránsito liviano.

4.3.2 MAC para Tránsito Medio.

Para este tipo de tránsito se realizaron briquetas con un porcentaje de asfalto óptimo de 5.50% obtenido en el punto 4.2.2.2 de la presente investigación, compactadas a 50 golpes por cada cara, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 34:*Resultados de MAC – Tránsito Medio.*

BRIQUETA	% ASFALTO	ESTABILIDAD		FLUJO
		DIVISIONES	KN	
<i>M - 1</i>	5.50%	410.00	13.73	16.00
<i>M - 2</i>	5.50%	443.00	14.83	8.00
<i>M - 3</i>	5.50%	437.00	14.63	11.00
PROMEDIO	5.50%	430.00	14.40	11.67

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 14.40 KN por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito medio (5.44 KN) y un flujo de 11.67, dentro del rango (8 a 16). Éstos resultados son nuestros valores estándares de una MAC para tránsito medio.

4.3.3 MAC para Tránsito Pesado.

Para este tipo de tránsito se realizaron briquetas, al igual que en el punto anterior, con un porcentaje de asfalto óptimo de 5.50% obtenido en el punto 4.2.2.3 de la presente investigación, compactadas a 75 golpes por cada cara, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 35:
Resultados de MAC – Tránsito Pesado.

BRIQUETA	% ASFALTO	ESTABILIDAD		FLUJO
		DIVISIONES	KN	
P - 1	5.50%	500.00	16.73	10
P - 2	5.50%	485.00	16.23	11.00
P - 3	5.50%	507.00	16.96	9.00
PROMEDIO	5.50%	497.33	16.64	10.00

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 16.64 KN por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado (8.15 KN) y un flujo de 10.00, dentro del rango (8 a 14). Éstos resultados son nuestros valores estándares de una MAC para tránsito pesado.



Figura 31 y 32: Agregado grueso y fino calentado a 135° y el asfalto a 150°.

4.4 Estabilidad y Flujo de las MAT con ACP Tipo A.

Para el diseño de las MAT se hizo ensayos a diferentes porcentajes de ACP Tipo A para cada tipo de tránsito.



Figura 33: Ensayo de Marshall para saber el flujo y la estabilidad de las briquetas.

4.4.1 Para Tránsito Liviano.

Las briquetas con 5.00% de asfalto compactadas a 35 golpes se ensayaron en el equipo Marshall obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 36:
Resultados de MAT Tipo A– Tránsito Liviano.

% de ACP	Tipo A	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	11.704	11.00
	13.035	12.00
	13.102	14.00
1.0%	19.422	16.00
	19.222	17.00
	18.624	13.00
1.5%	5.085	17.00
	6.282	13.00
	5.617	15.00
2.0%	5.983	15.00
	9.176	13.00
	6.914	13.00
2.5%	6.482	12.00
	8.943	16.00
	7.413	13.00

Fuente: Elaboración Propia.

Para apreciar de mejor manera la variación que existe entre resultados con los mismos porcentajes de ACP se representan en gráficos de dispersión como se muestran a continuación:

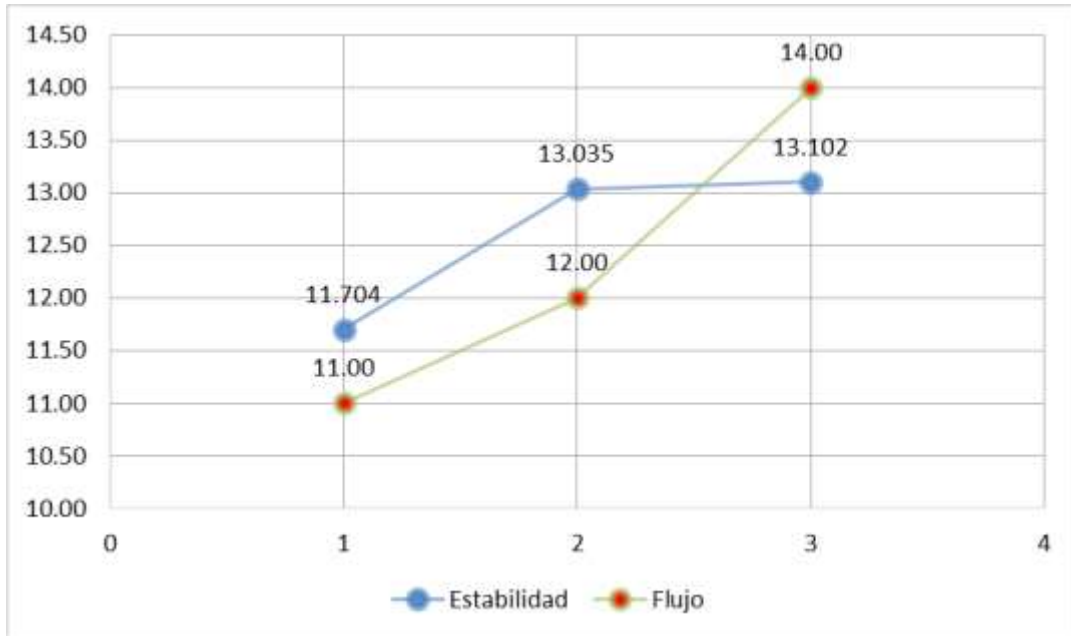


Figura 34: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo A - T. Liviano.
Fuente: Elaboración Propia.

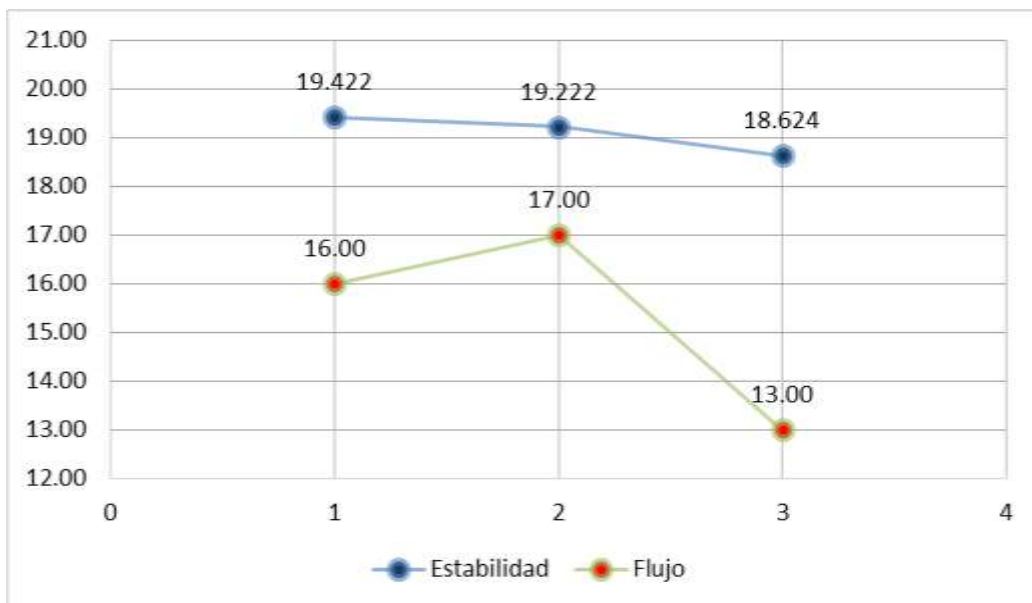


Figura 35: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo A - T. Liviano.
Fuente: Elaboración Propia.

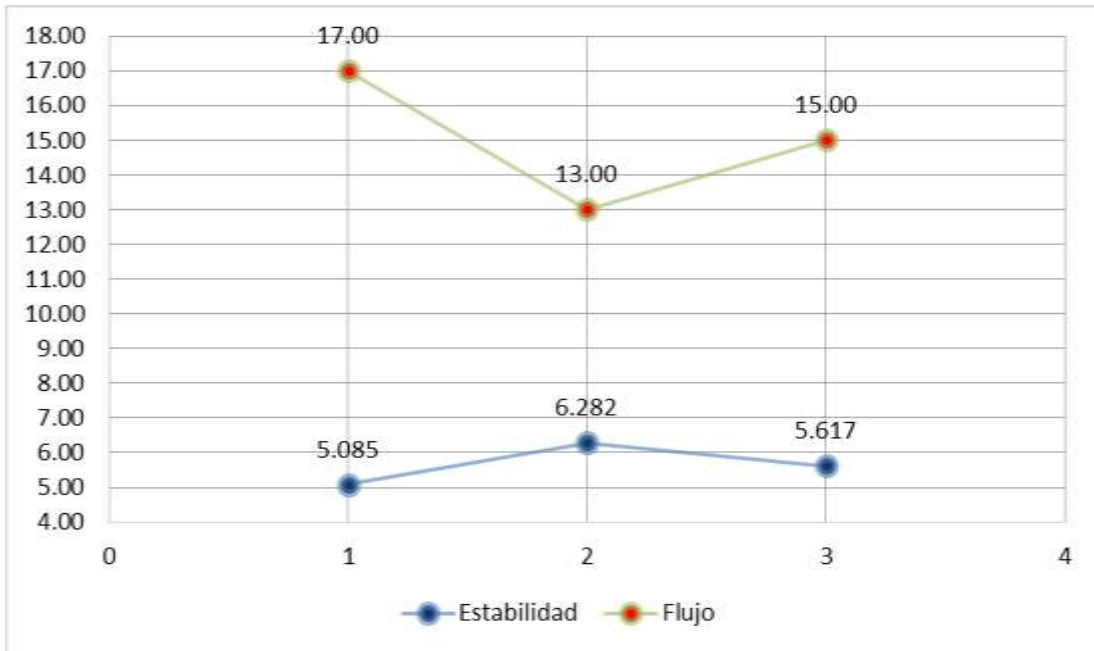


Figura 36: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo A - T. Liviano.

Fuente: Elaboración Propia.

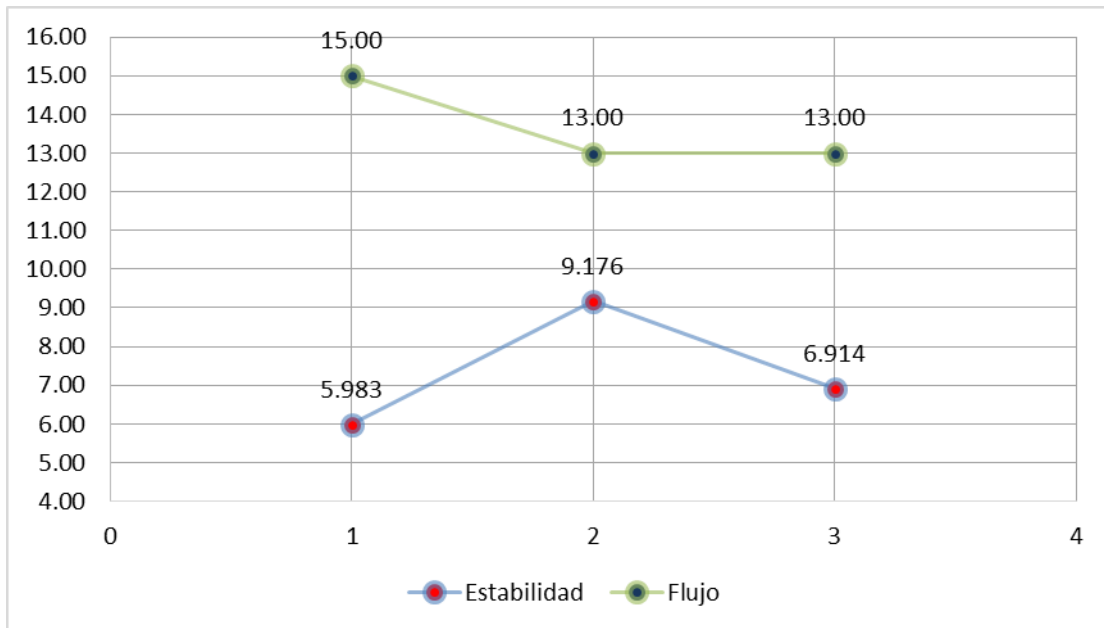


Figura 37: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo A - T. Liviano.

Fuente: Elaboración Propia.

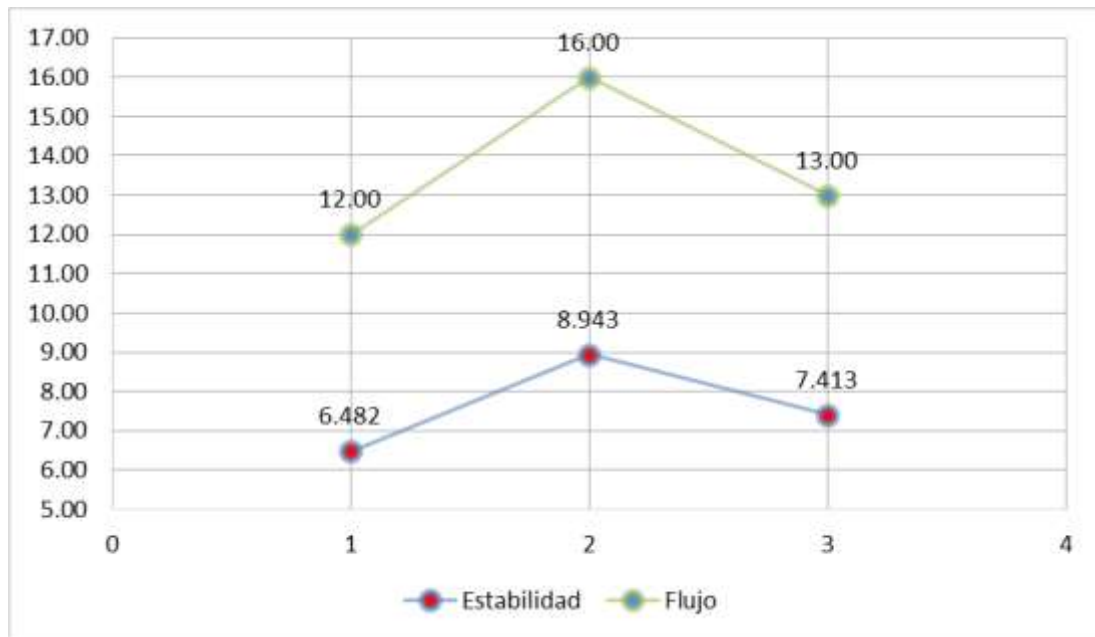


Figura 38: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo A - T. Liviano.

Fuente: Elaboración Propia.

En los gráficos anteriores se pueden apreciar los resultados de mejor forma, observando la variación que existe entre los resultados de las 3 briquetas de cada porcentaje de ACP. Se puede apreciar que con respecto al flujo existe una mayor variación con los porcentajes de 0.50% y 1.00% mientras que para la estabilidad se tuvo una menor variación en todos los casos.

Los resultados de la Tabla 37 se obtuvieron de 15 briquetas, 3 para cada porcentaje de ACP, los cuales se promediaron resultando:

Tabla 37:

Resultados Promedios de MAT Tipo A – Tránsito Liviano.

% de ACP	Tipo A	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	12.61	12.33
1.0%	19.09	15.33
1.5%	5.66	15.00
2.0%	7.36	13.67
2.5%	7.61	13.67

Fuente: Elaboración Propia.

Estos resultados se muestran en las siguientes gráficas de barras, analizando Estabilidad y Flujo por separado:

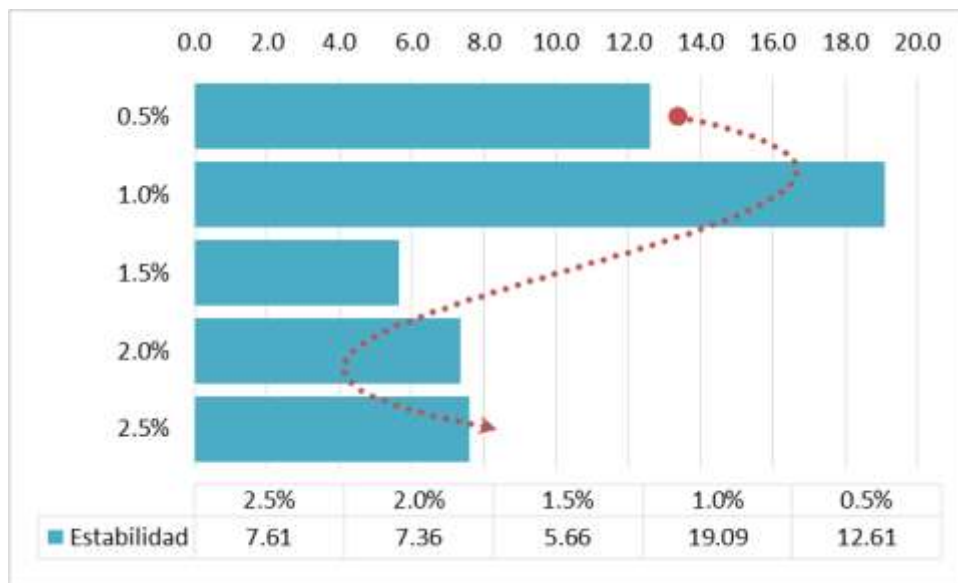


Figura 39: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo A - T. Liviano.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 39 se observa la variación que existe con respecto a la Estabilidad de los 5 porcentajes de ACP empleados.

Se aprecia claramente que la MAT con 1.0% de ACP tiene una mayor estabilidad (19.09 KN). Además de eso se puede observar que pasado el 1.0% de ACP la estabilidad de las briquetas se reduce un 64% con respecto a la MAT con 1.0% de ACP.

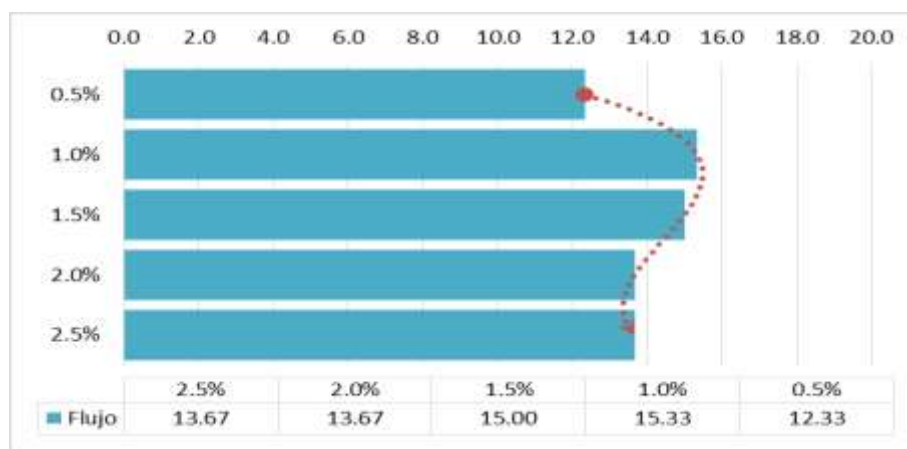


Figura 40: Figura de Flujo de las MAT Tipo A - T. Liviano.

Fuente: Elaboración Propia.

A comparación con los resultados de Estabilidad, los resultados de Flujo de las MAT para tránsito liviano tienen una menor variación estando en el rango de 12 a 15, siendo de éstos, como en la Figura anterior, la MAT con 1.0% de ACP quien tiene el mayor resultado.

4.4.2 Para Tránsito Medio.

Las briquetas con 5.50% de asfalto compactadas a 50 golpes se ensayaron en el equipo Marshall obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 38:
Resultados de MAT Tipo A – Tránsito Medio.

% de ACP	Tipo A	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	13.634	9.00
	10.074	10.00
	12.137	9.00
1.0%	14.000	15.00
	17.792	10.00
	16.129	11.00
1.5%	13.667	7.00
	11.538	9.00
	12.935	8.00
2.0%	13.567	14.00
	20.054	7.00
	17.992	10.00
2.5%	9.775	8.00
	10.340	8.00
	9.409	9.00

Fuente: Elaboración Propia.

Para apreciar de mejor manera la variación que existe entre resultados con los mismos porcentajes de ACP se representan en gráficos de dispersión como se muestran a continuación:

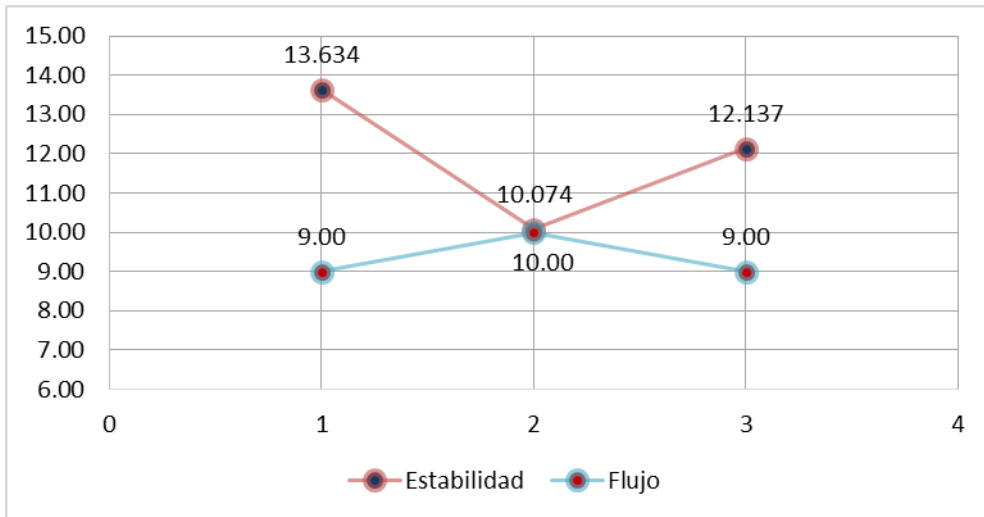


Figura 41: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo A - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

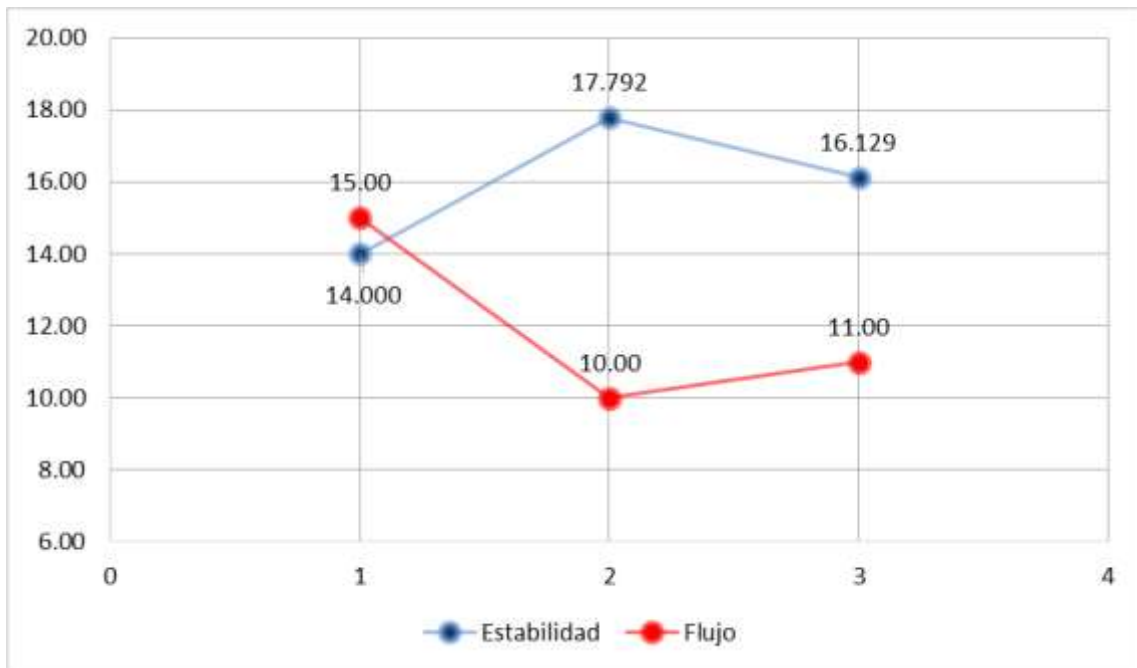


Figura 42: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo A - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

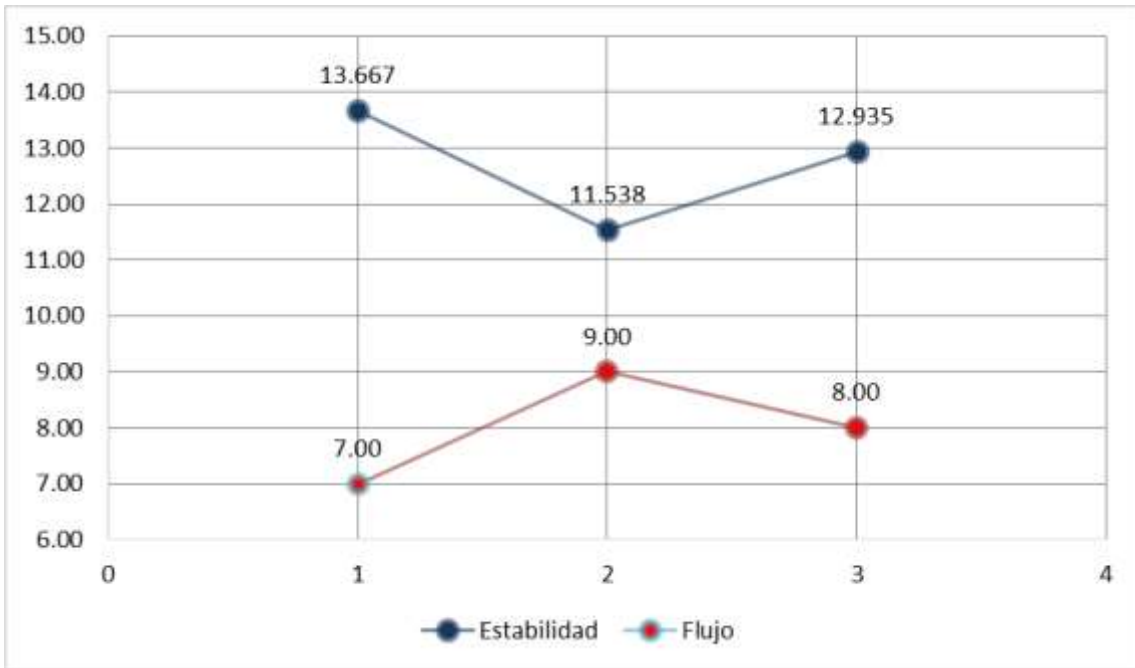


Figura 43: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo A - T. Medio.
Fuente: Elaboración Propia.

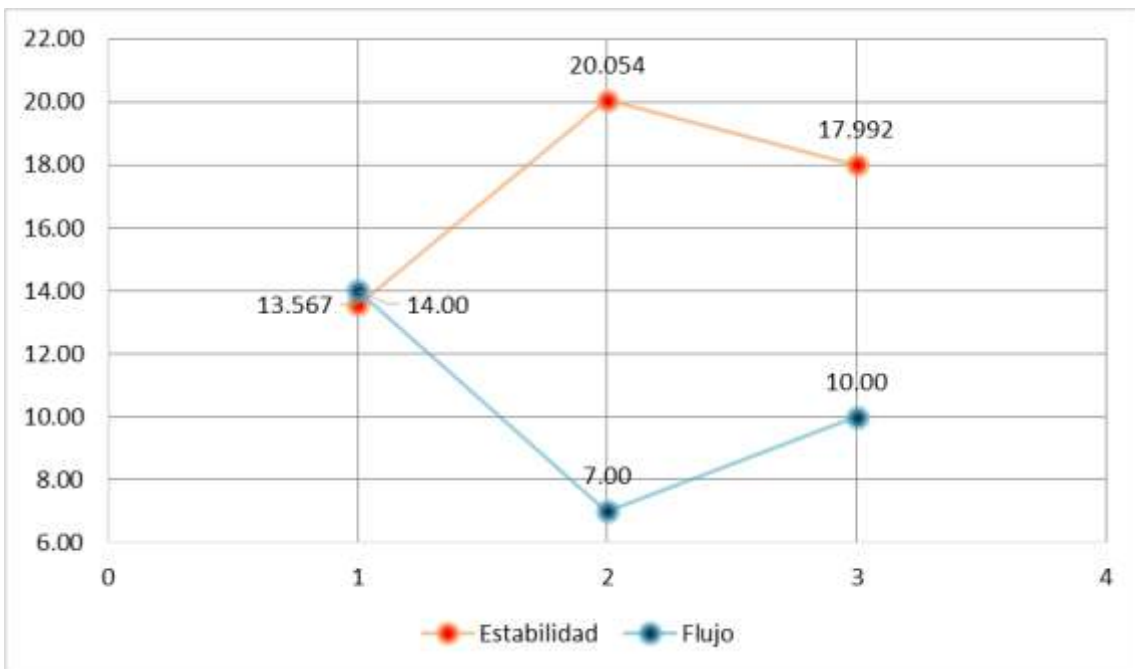


Figura 44: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo A - T. Medio
Fuente: Elaboración Propia.

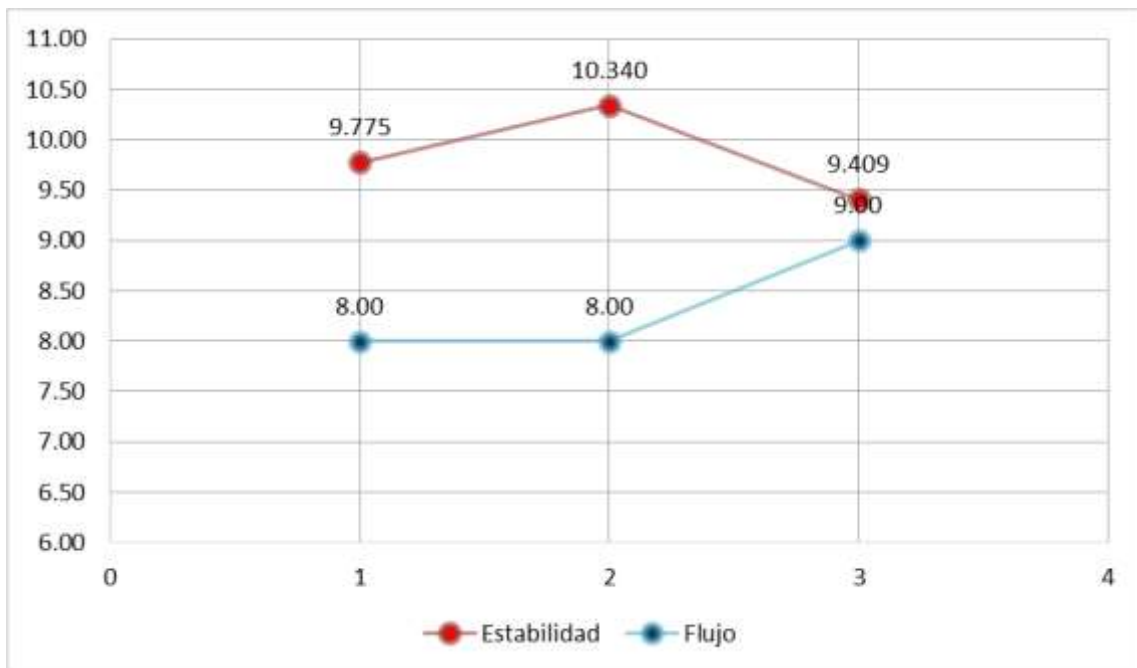


Figura 45: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo A - T. Medio.
Fuente: Elaboración Propia.

En los gráficos anteriores se pueden apreciar los resultados de mejor forma, observando la variación que existe entre los resultados de las 3 briquetas de cada porcentaje de ACP en una MAT de tránsito medio. Se puede apreciar que con respecto a la estabilidad en los porcentajes de ACP de 1.00%, 1.50% y 2.50 % la variación es baja de 1 a 3; mientras que para el flujo la variación más baja es en los porcentajes 0.50%, 1.50% y 2.50%.

Los resultados de la Tabla 39 se obtuvieron de 15 briquetas, 3 para cada porcentaje de ACP, los cuales se promediaron resultando:

Tabla 39:
Resultados Promedios de MAT Tipo A – Tránsito Medio.

% de ACP	Tipo A	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	11.95	9.33
1.0%	15.97	12.00
1.5%	12.71	8.00
2.0%	17.20	10.33
2.5%	9.87	8.50

Fuente: Elaboración Propia.

Estos resultados se muestran en las siguientes gráficas de barras, analizando Estabilidad y Flujo por separado:



Figura 46: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo A - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 46 se observa la variación que existe con respecto a la Estabilidad de los 5 porcentajes de ACP empleados.

Se aprecia claramente que la MAT con 2.0% de ACP tiene una mayor estabilidad (17.20 KN), seguida de la MAT con 1.0% de ACP (15.97 KN). Además de eso se puede observar que pasado el 2.0% de ACP la estabilidad de las briquetas se reduce considerablemente con respecto a las anteriores.

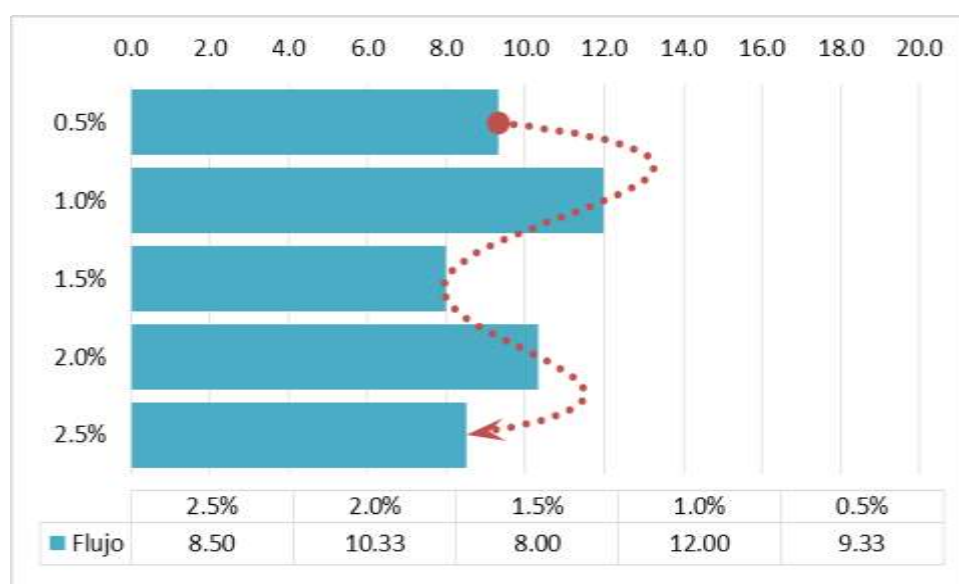


Figura 47: Figura de Flujo de las MAT Tipo A - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

A comparación con los resultados de Estabilidad, los resultados de Flujo de las MAT para tránsito medio tienen una menor variación estando en el rango de 8 a 12, siendo de éstos, la MAT con 1.0% de ACP quien tiene el mayor resultado (12), seguido de la MAT con 2.0% (10.33).

4.4.3 Para Tránsito Pesado.

Las briquetas con 5.50% de asfalto compactadas a 75 golpes se ensayaron en el equipo Marshall obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 40:
Resultados de MAT Tipo A – Tránsito Pesado.

% de ACP	Tipo A	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	8.13	9.00
	7.46	10.50
	7.82	10.00
1.0%	6.96	9.00
	7.80	7.50
	7.05	8.00
1.5%	5.66	8.00
	5.21	9.50
	5.23	9.00
2.0%	4.87	11.00
	4.81	9.00
	4.93	10.00
2.5%	4.64	13.00
	3.54	9.50
	4.00	11.00

Fuente: Elaboración Propia.

Para apreciar de mejor manera la variación que existe entre resultados con los mismos porcentajes de ACP se representan en gráficos de dispersión como se muestran a continuación:

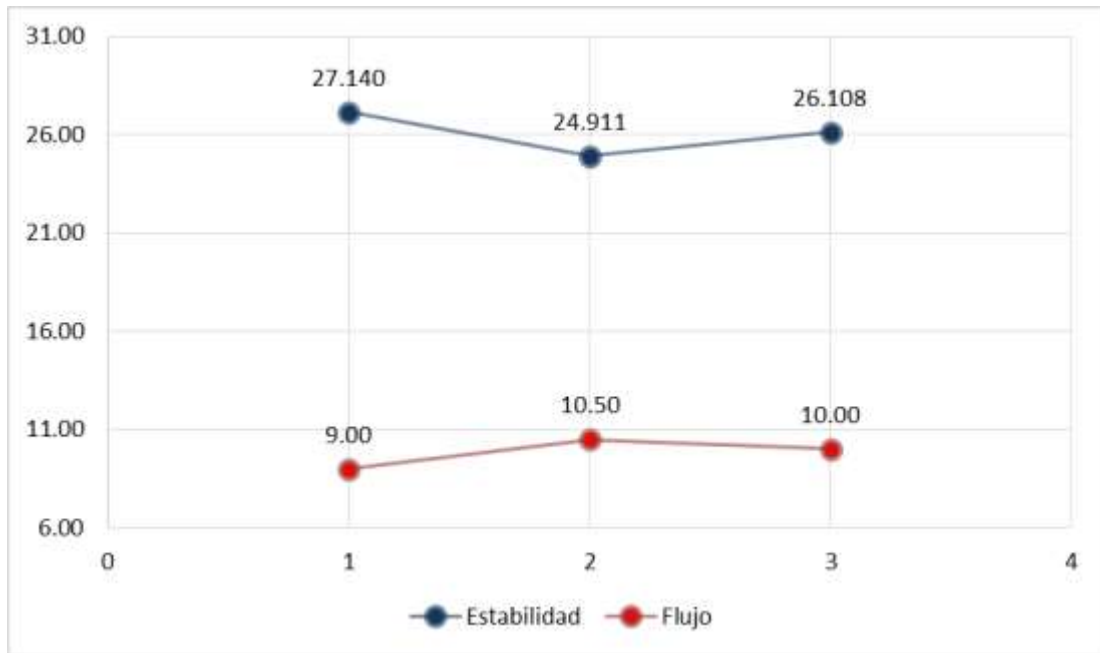


Figura 48: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo A - T. Pesado.

Fuente: Elaboración Propia.

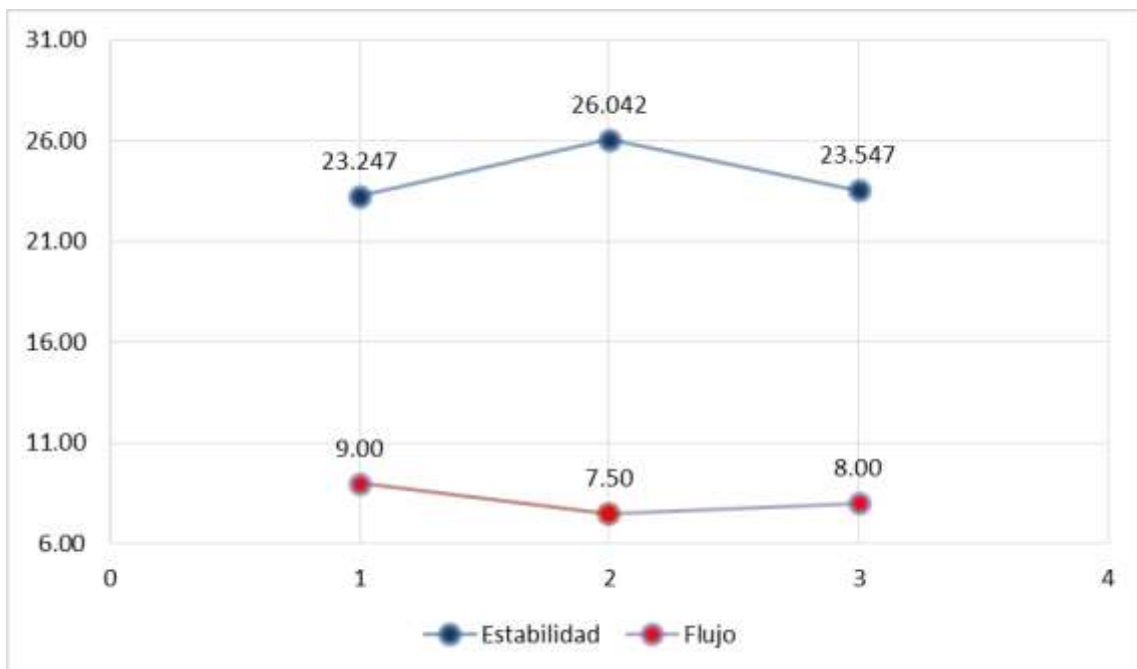


Figura 49: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo A - T. Pesado.

Fuente: Elaboración Propia.

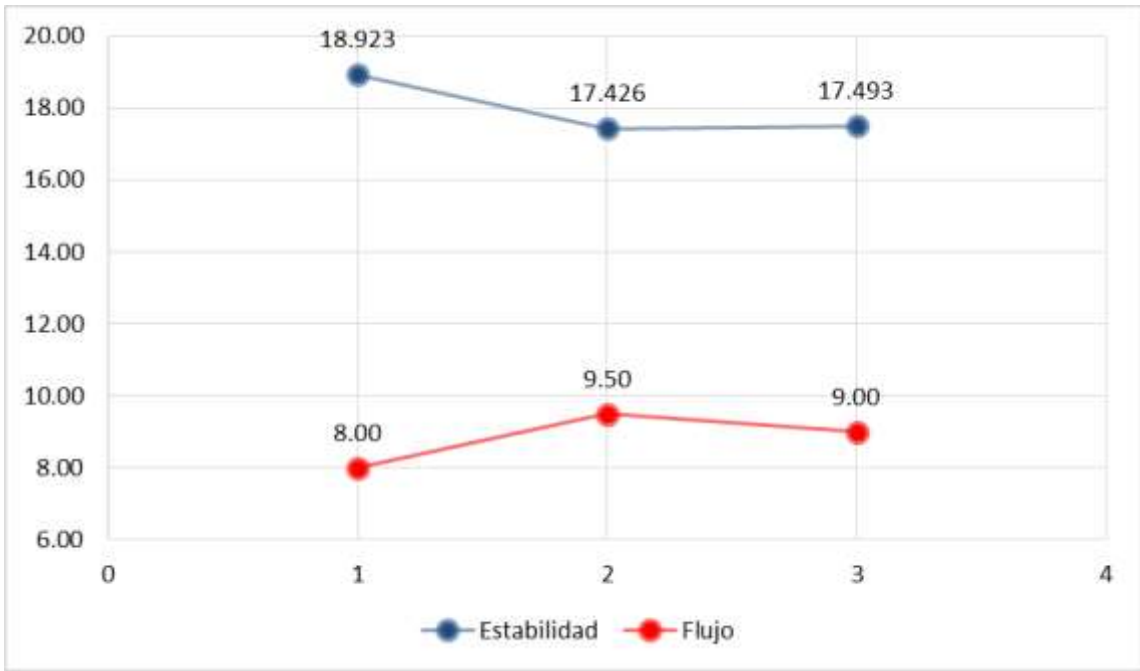


Figura 50: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo A - T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

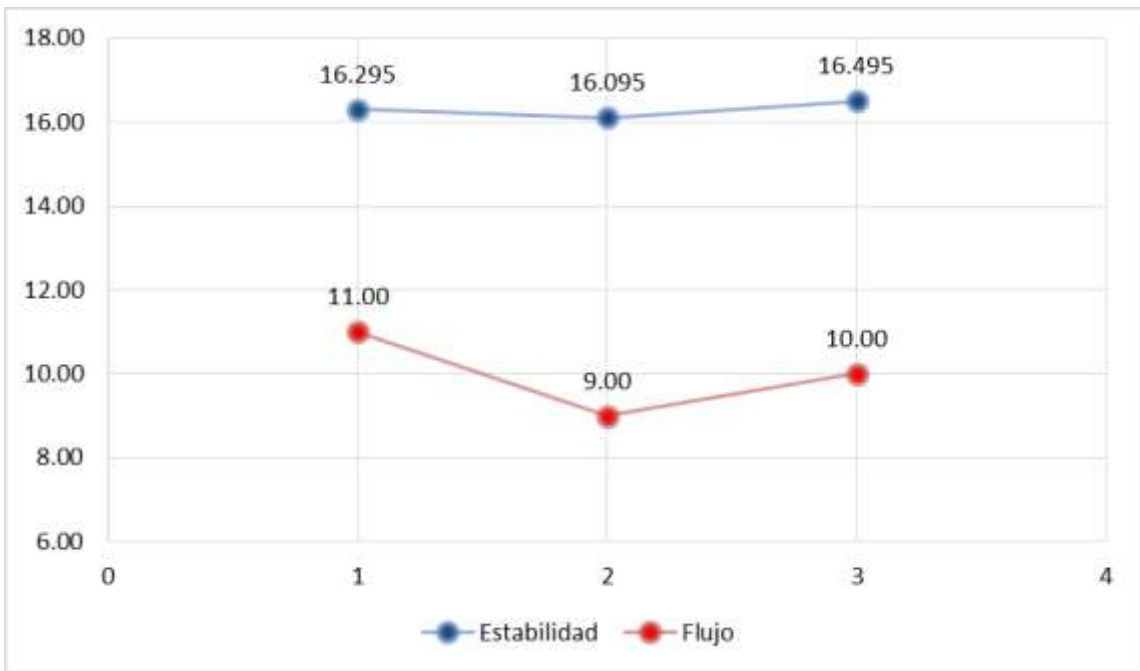


Figura 51: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo A - T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

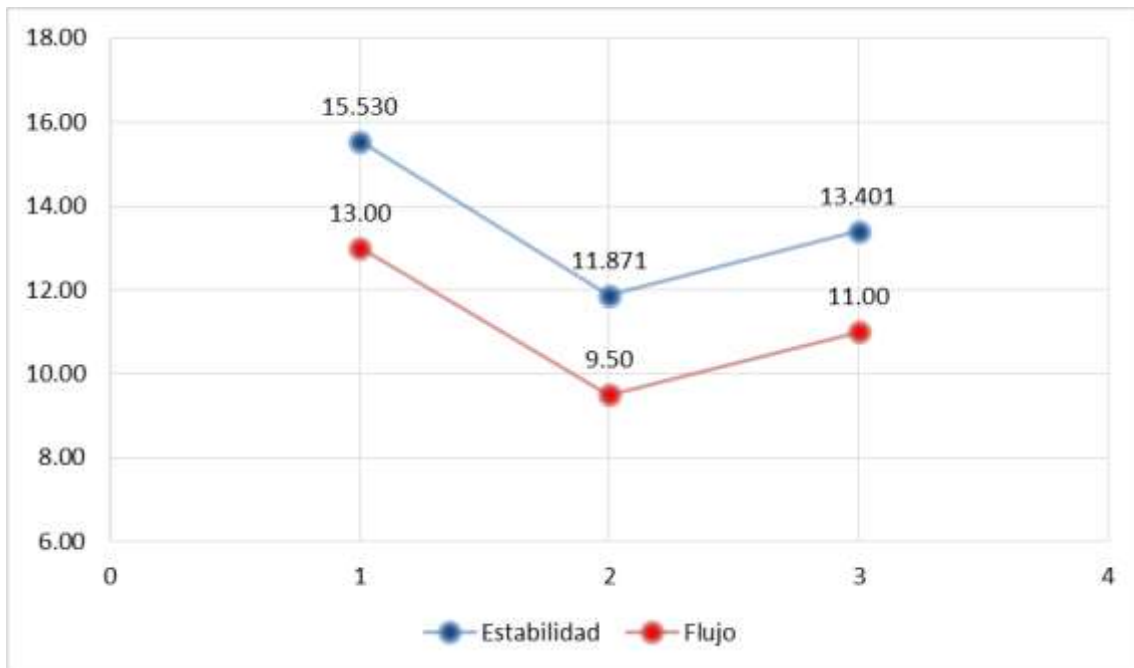


Figura 52: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo A - T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

En los gráficos anteriores se pueden apreciar los resultados de mejor forma, observando la variación que existe entre los resultados de las 3 briquetas de cada porcentaje de ACP en una MAT de tránsito pesado. Se puede apreciar que con excepción de la MAT con 2.50% de ACP la variación que existe tanto para estabilidad como para flujo se mantiene en un rango menor comparado con los anteriores tránsitos.

Los resultados de la Tabla 41 se obtuvieron de 15 briquetas, 3 para cada porcentaje de ACP, los cuales se promediaron resultando:

Tabla 41:
Resultados Promedios de MAT Tipo A – Tránsito Pesado.

% de ACP	Tipo A	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	26.05	9.83
1.0%	24.28	8.17
1.5%	17.95	8.83
2.0%	16.30	10.00
2.5%	13.60	11.17

Fuente: Elaboración Propia.

Estos resultados se muestran en las siguientes gráficas de barras, analizando Estabilidad y Flujo por separado:

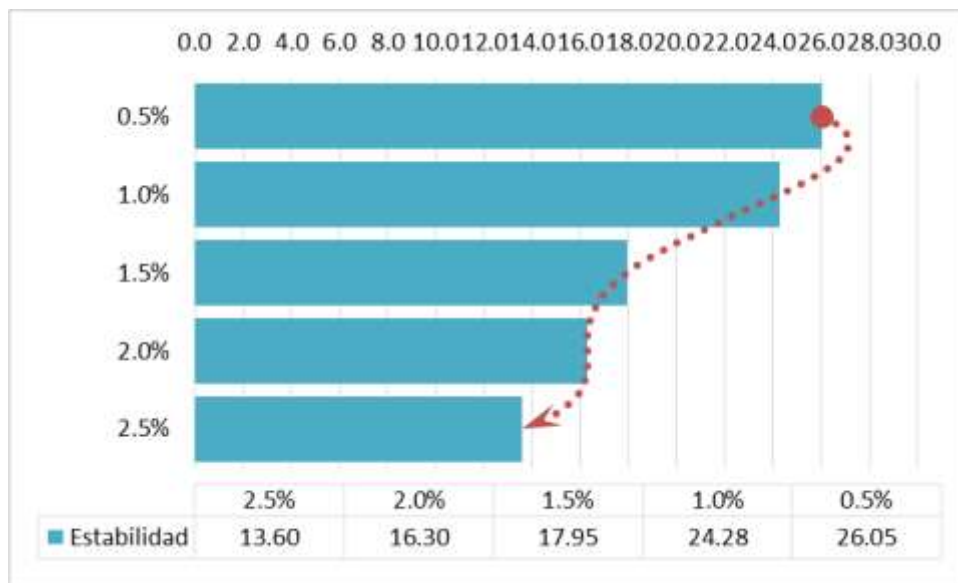


Figura 53: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo A - T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 53 se observa la variación que existe con respecto a la Estabilidad de los 5 porcentajes de ACP empleados.

Se aprecia claramente que la estabilidad va decreciendo conforme se aumenta el porcentaje de ACP en la MAT.

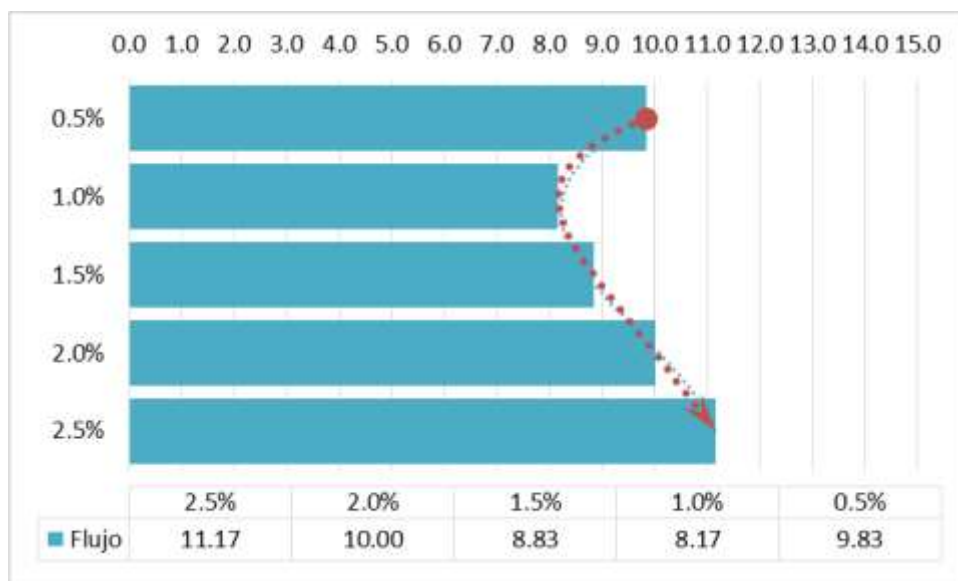


Figura 54: Figura de Flujo de las MAT - T Tipo A. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

Contrariamente de los resultados de Estabilidad, los resultados de Flujo de las MAT para tránsito pesado, excepto para el 0.5% de ACP, indican que mientras aumenta el porcentaje de ACP el Flujo también aumenta.

4.5 Estabilidad y Flujo de las MAT con ACP Tipo B.

Para el diseño de las MAT se hizo ensayos a diferentes porcentajes de ACP Tipo B para cada tipo de tránsito.

4.5.1 Para Tránsito Liviano.

Las briquetas con 5.00% de asfalto y diferentes porcentajes de ACP tipo B compactadas a 35 golpes se ensayaron en el equipo Marshall obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 42:

Resultados de MAT Tipo B – Tránsito Liviano.

% de ACP	Tipo B	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	11.505	13.00
	6.715	14.00
	7.080	13.00
1.0%	16.428	14.00
	17.293	9.00
	17.060	12.00
1.5%	13.268	17.00
	12.336	11.00
	12.469	14.00
2.0%	19.721	13.00
	19.688	14.00
	19.056	14.00
2.5%	6.681	8.00
	6.415	7.00
	7.746	9.00

Fuente: Elaboración Propia.

Para apreciar de mejor manera la variación que existe entre resultados con los mismos porcentajes de ACP se representan en gráficos de dispersión como se muestran a continuación:

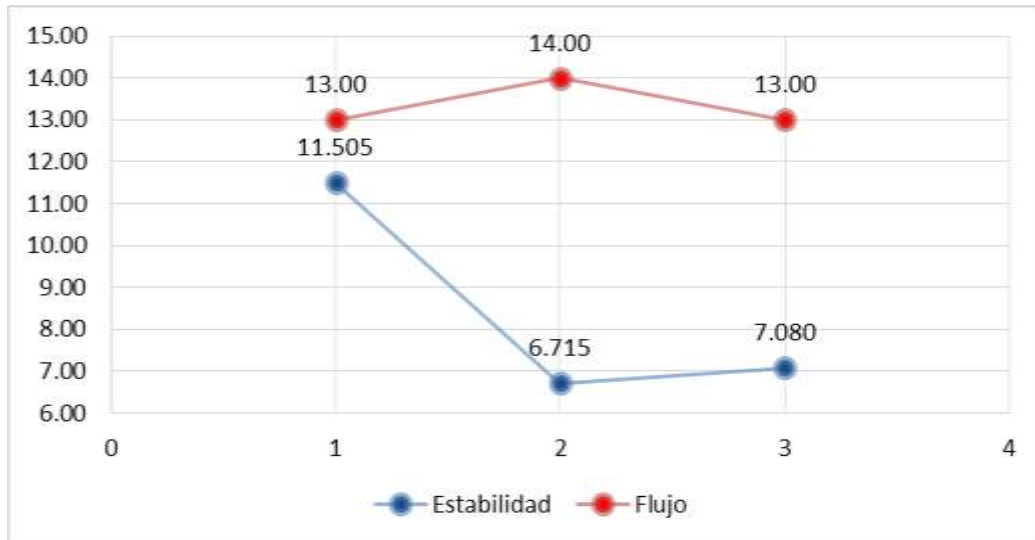


Figura 55: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo B - T. Liviano.

Fuente: Elaboración Propia.

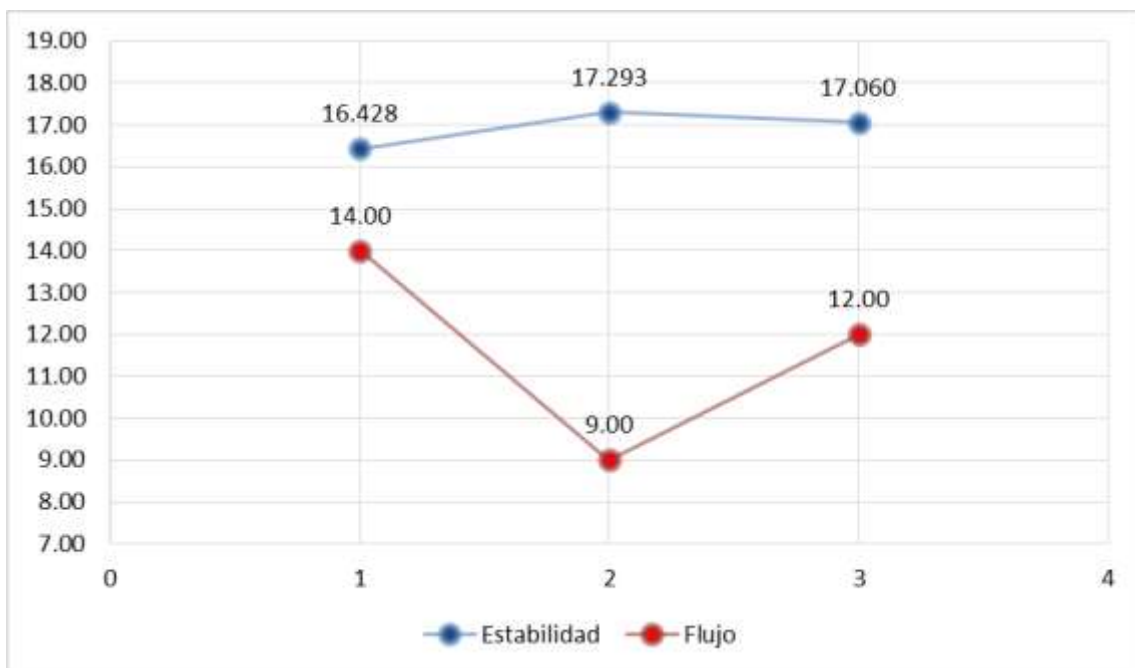


Figura 56: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo B - T. Liviano.

Fuente: Elaboración Propia.

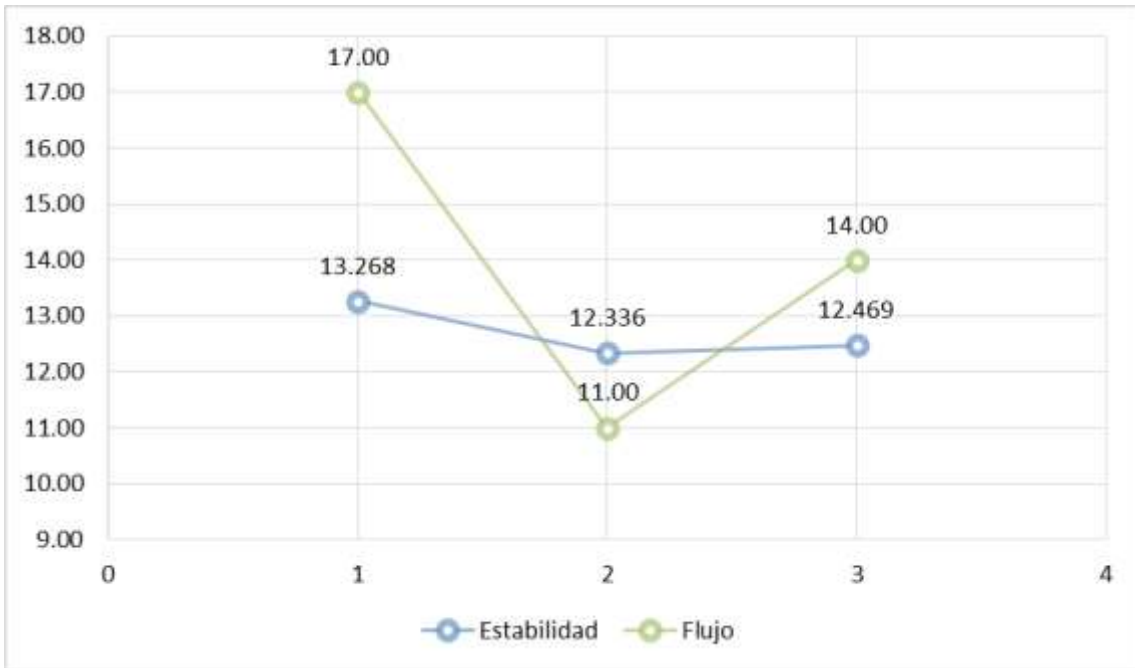


Figura 57: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo B - T. Liviano.
Fuente: Elaboración Propia.

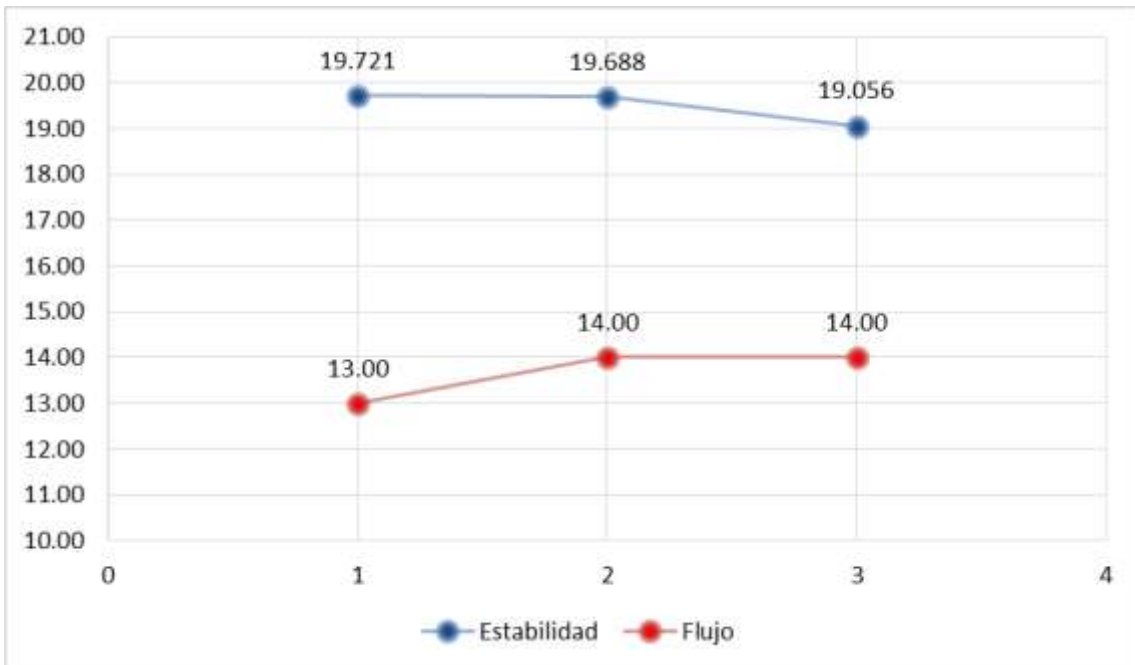


Figura 58: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo B - T. Liviano.
Fuente: Elaboración Propia.

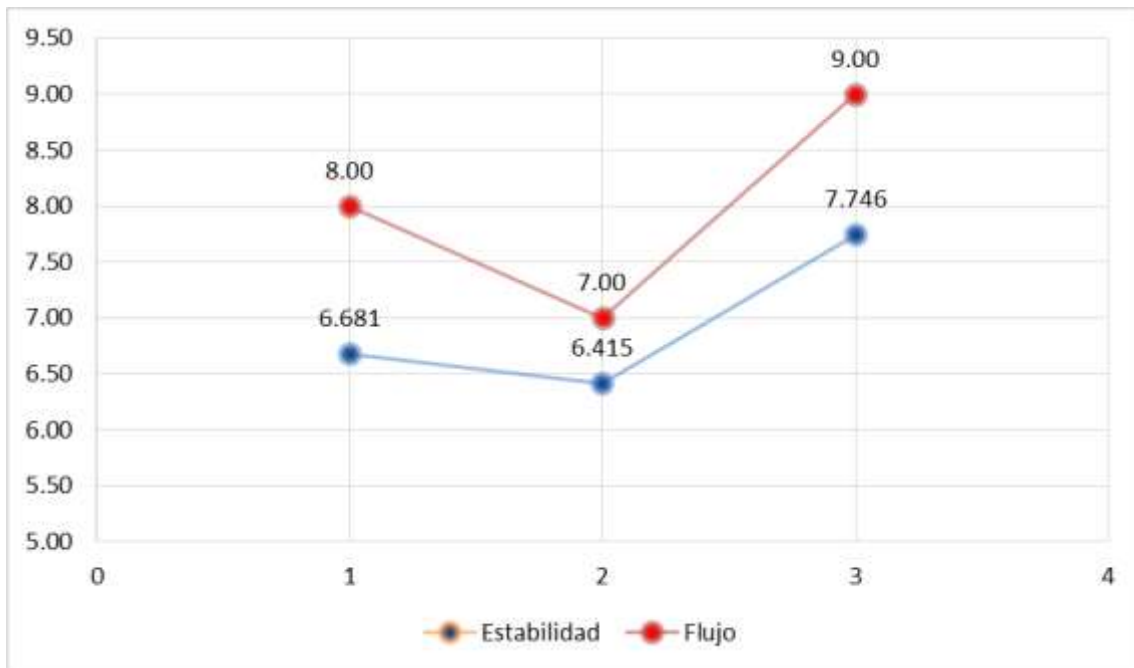


Figura 59: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo B - T. Liviano.

Fuente: Elaboración Propia.

En los gráficos anteriores se pueden apreciar los resultados de mejor forma, observando la variación que existe entre los resultados de las 3 briquetas de cada porcentaje de ACP Tipo B. Se puede apreciar que en los resultados de flujo existe una mayor dispersión comparada con los resultados de estabilidad.

Los resultados de la Tabla 43 se obtuvieron de 15 briquetas, 3 para cada porcentaje de ACP Tipo B, los cuales se promediaron resultando:

Tabla 43:

Resultados Promedios de MAT Tipo B – Tránsito Liviano.

% de ACP	Tipo B	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	8.43	13.33
1.0%	16.93	11.67
1.5%	12.69	14.00
2.0%	19.49	13.67
2.5%	6.95	8.00

Fuente: Elaboración Propia.

Estos resultados se muestran en las siguientes gráficas de barras, analizando Estabilidad y Flujo por separado:

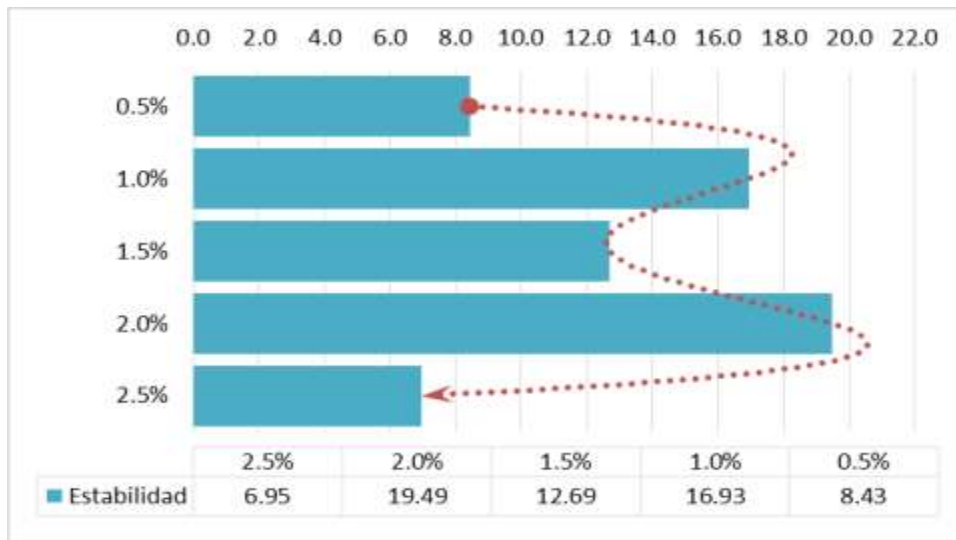


Figura 60: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo B - T. Liviano.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 60 se observa la variación que existe con respecto a la Estabilidad de los 5 porcentajes de ACP Tipo B empleados.

Se aprecia claramente que la MAT con 2.0% de ACP Tipo B tiene una mayor estabilidad (19.49 KN), seguido de la MAT con 1.0% de ACP Tipo B (16.93 KN).

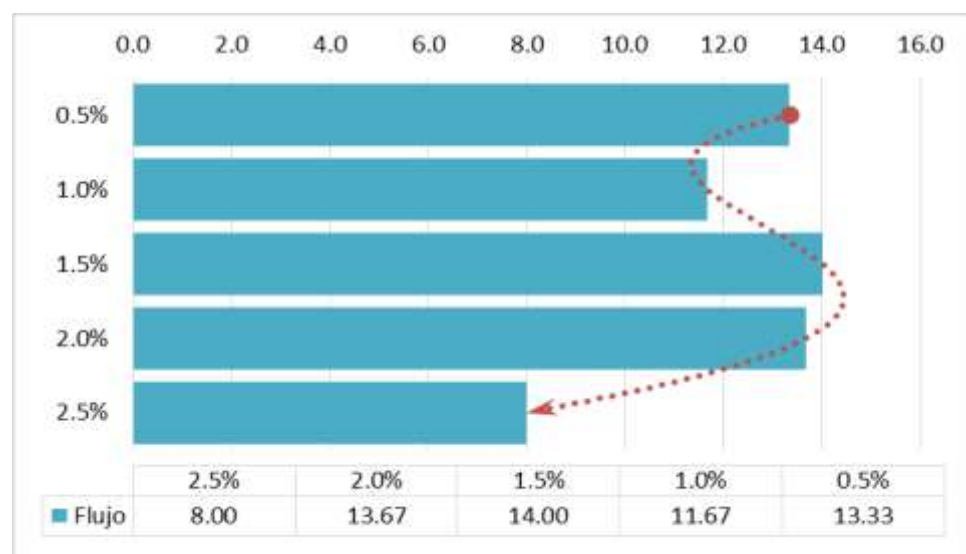


Figura 61: Figura de Flujo de las MAT Tipo B - T. Liviano.

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de Flujo de las MAT Tipo B para tránsito liviano mostrados en la figura 60 tienen un menor rango de variación con excepción de las briquetas con 2.5% de ACP Tipo B que se alejan mucho de los otros porcentajes, la MAT con 1.5% de ACP quien tiene el mayor resultado (14).

4.5.2 Para Tránsito Medio.

Las briquetas con 5.50% de asfalto con ACP Tipo B compactadas a 50 golpes se ensayaron en el equipo Marshall obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 44:
Resultados de MAT Tipo B – Tránsito Medio.

% de ACP	Tipo B	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	20.220	10.00
	14.964	9.00
	21.085	9.00
1.0%	10.108	10.00
	16.095	7.00
	13.102	8.00
1.5%	11.937	8.00
	15.131	12.00
	13.800	11.00
2.0%	11.738	8.00
	19.023	9.00
	13.434	8.00
2.5%	14.099	8.00
	18.557	12.00
	16.994	11.00

Fuente: Elaboración Propia.

Para apreciar de mejor manera la variación que existe entre resultados con los mismos porcentajes de ACP se representan en gráficos de dispersión como se muestran a continuación:

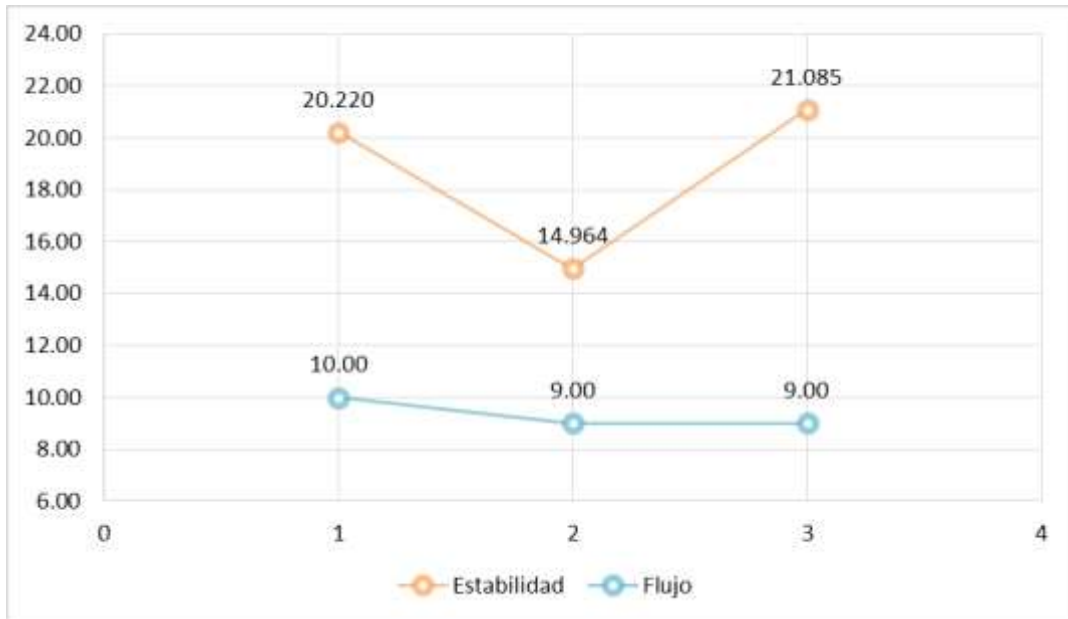


Figura 62: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo B - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia

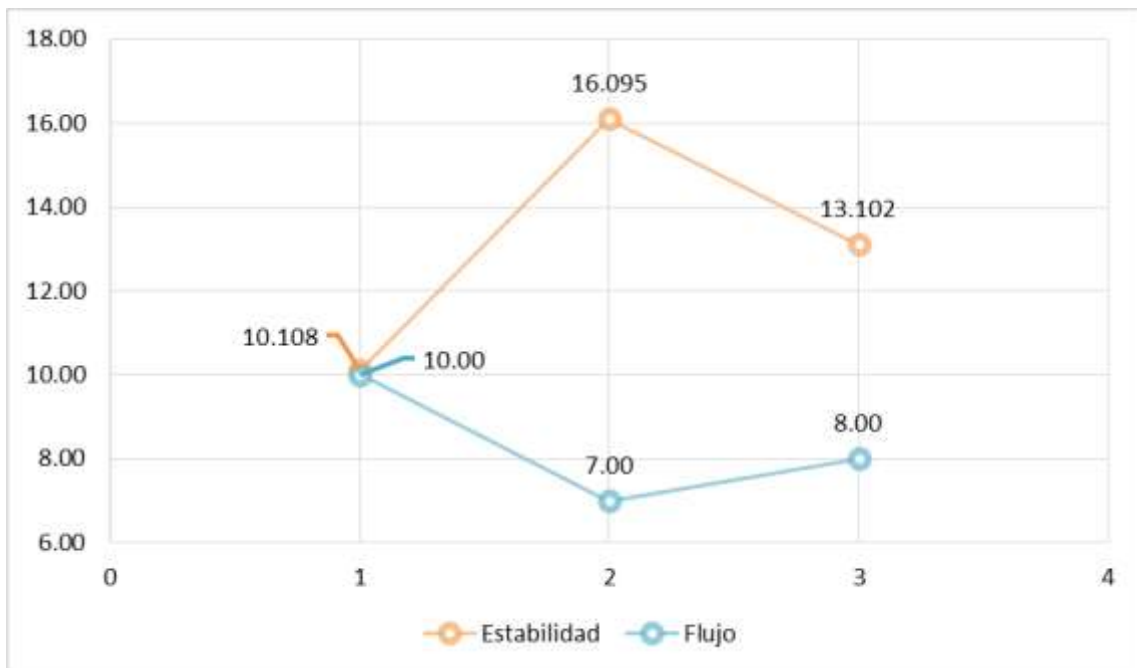


Figura 63: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo B - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

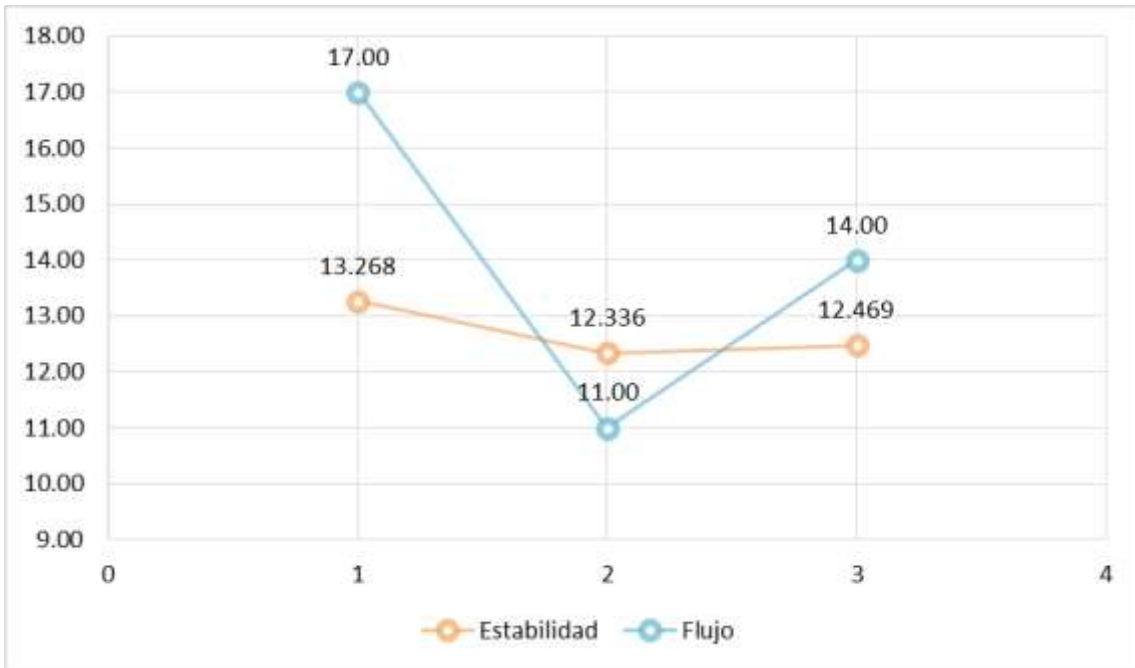


Figura 64: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo B - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

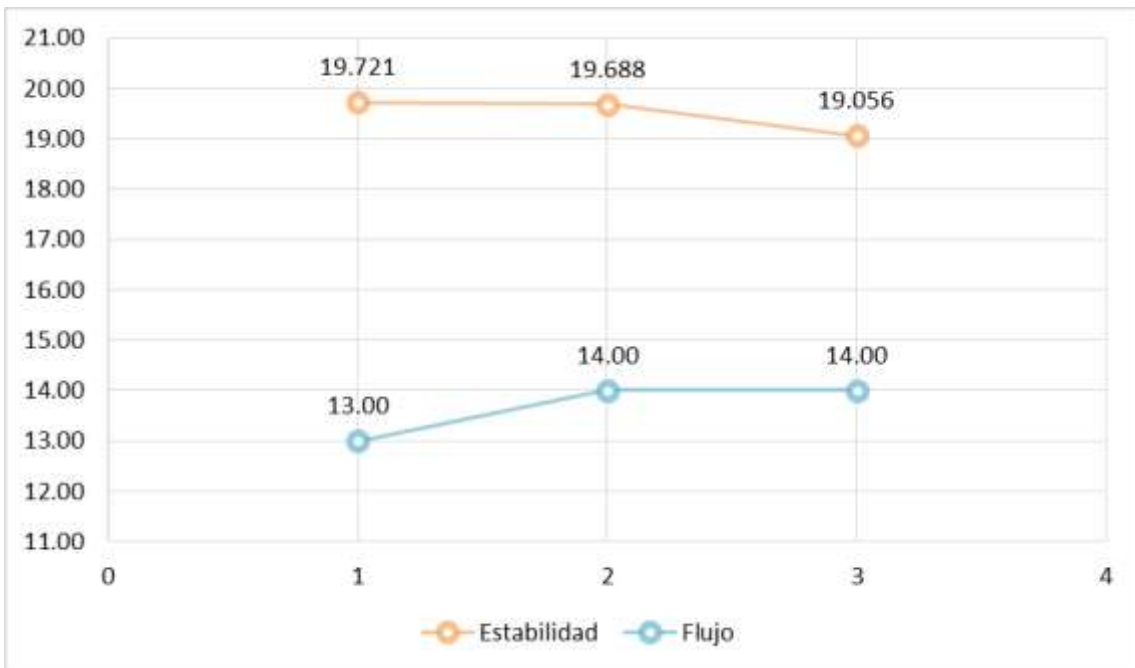


Figura 65: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo B - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

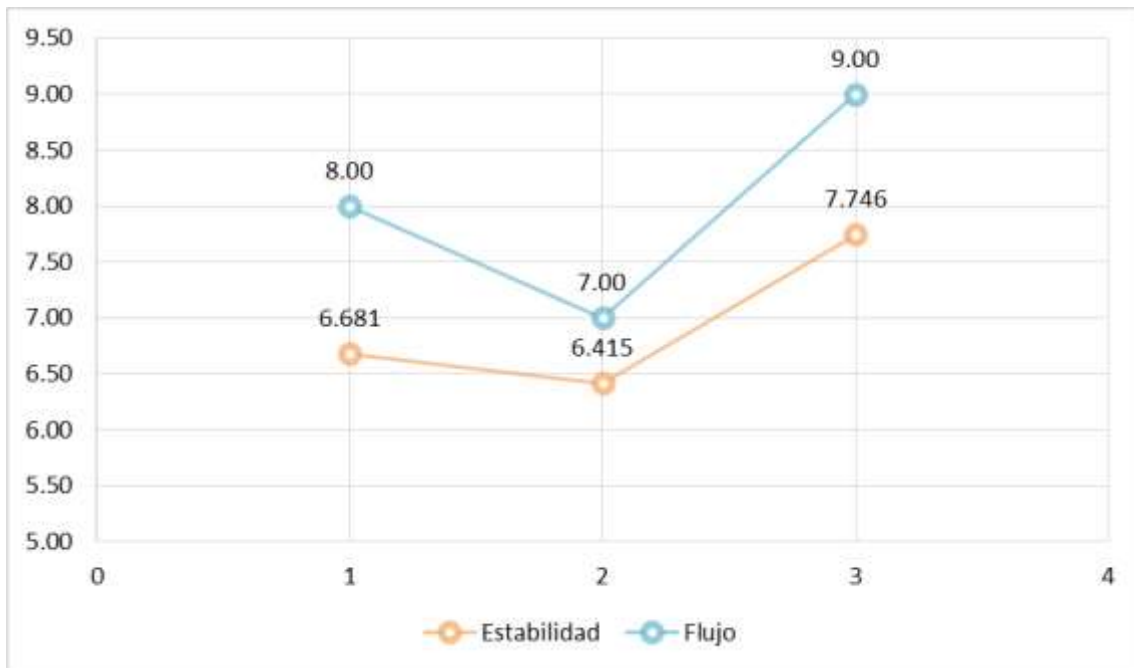


Figura 66: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo B - T. Medio.
Fuente: Elaboración Propia.

En los gráficos anteriores se pueden apreciar los resultados de mejor forma, observando la variación que existe entre los resultados de las 3 briquetas de cada porcentaje de ACP Tipo B en una MAT de tránsito medio. Se puede apreciar que sólo en la figura 64, de ACP Tipo B de 2.00%, la variación existente tanto para flujo como para estabilidad es baja.

Los resultados de la Tabla 45 se obtuvieron de 15 briquetas, 3 para cada porcentaje de ACP, los cuales se promediaron resultando:

Tabla 45:
Resultados Promedios de MAT Tipo B – Tránsito Medio.

% de ACP	Tipo B	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	8.43	13.33
1.0%	16.93	11.67
1.5%	12.69	14.00
2.0%	19.49	13.67
2.5%	6.95	8.00

Fuente: Elaboración Propia.

Estos resultados se muestran en las siguientes gráficas de barras, analizando Estabilidad y Flujo por separado:

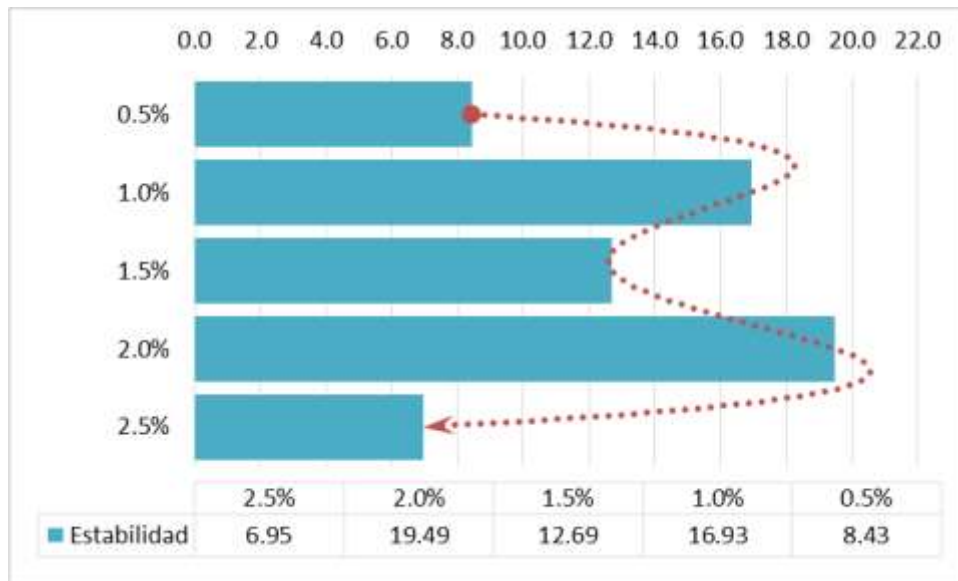


Figura 67: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo B - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 66 se observa la variación que existe con respecto a la Estabilidad de los 5 porcentajes de ACP empleados.

Se aprecia claramente que la MAT con 2.0% de ACP Tipo B tiene una mayor estabilidad (19.49 KN), seguida de la MAT con 1.0% de ACP (16.93 KN).

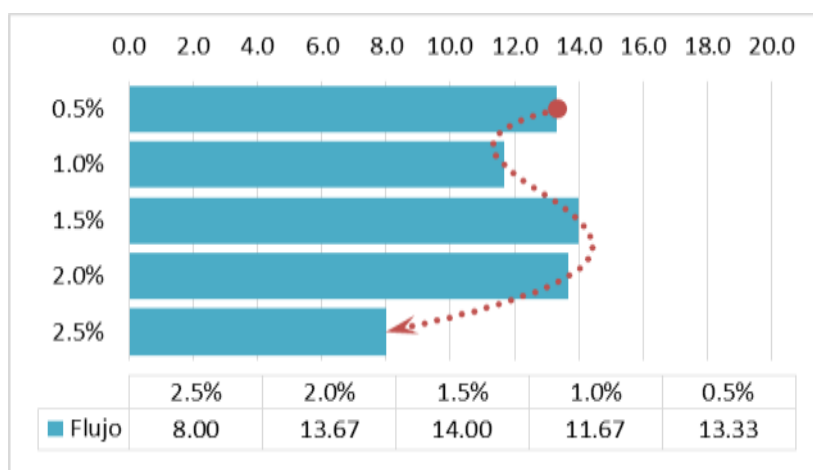


Figura 68: Figura de Flujo de las MAT Tipo B - T. Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

A comparación con los resultados de Estabilidad, los resultados de Flujo de las MAT con ACP Tipo B para tránsito medio tienen una menor variación estando en el rango de 11 a 14, con excepción de las briquetas con 2.5% que tiene un valor de flujo menor comparado con los otros. De éstos, la MAT con 1.5% de ACP Tipo B quien tiene el mayor resultado (14), seguido de la MAT con 2.0% (3.67).

4.5.3 Para Tránsito Pesado.

Las briquetas con 5.50% de asfalto con diferentes porcentajes de ACP Tipo B compactadas a 75 golpes por ambas caras se ensayaron en el equipo Marshall obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 46:
Resultados de MAT Tipo B – Tránsito Pesado.

% de ACP	Tipo B	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	22.715	8.50
	21.917	8.00
	21.418	8.00
1.0%	13.567	12.00
	19.389	11.00
	18.391	11.00
1.5%	23.547	6.00
	18.690	9.00
	20.553	7.00
2.0%	28.703	9.00
	24.445	10.00
	25.609	10.00
2.5%	24.112	12.00
	19.954	8.00
	20.054	11.00

Fuente: Elaboración Propia.

Para apreciar de mejor manera la variación que existe entre resultados con los mismos porcentajes de ACP Tipo B se representan en gráficos de dispersión como se muestran a continuación:

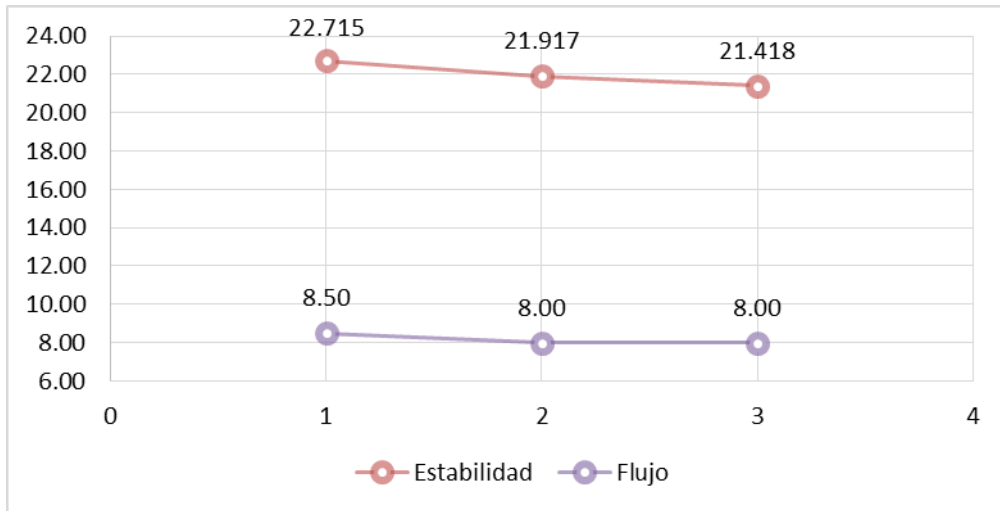


Figura 69: Figura de MAT con 0.50% de ACP Tipo B - T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

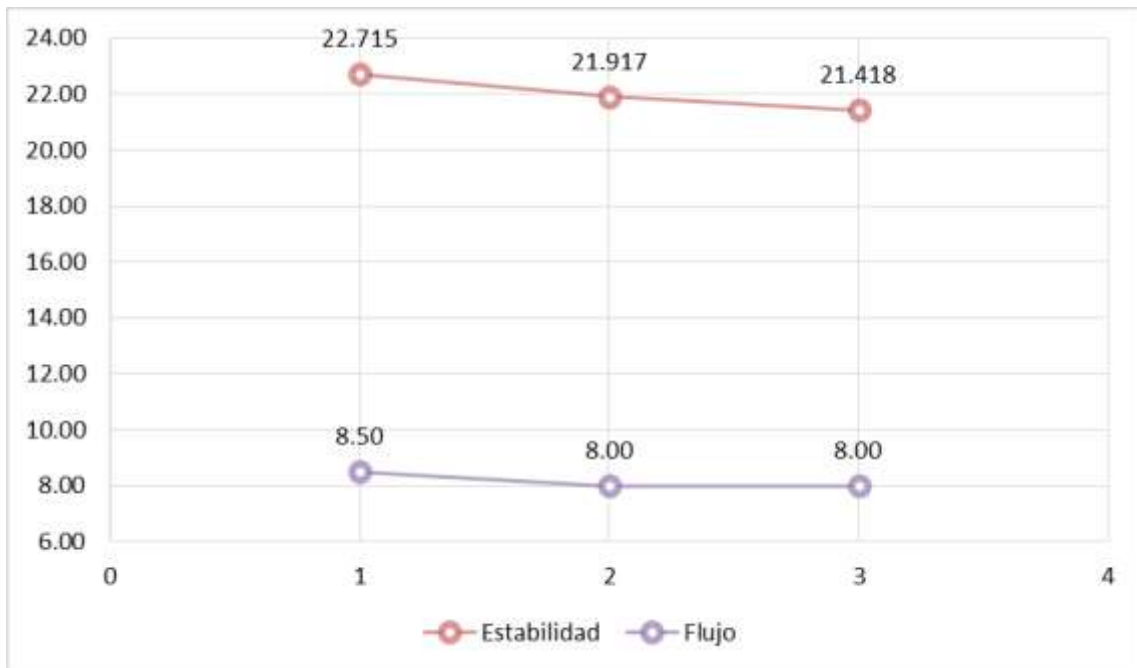


Figura 70: Figura de MAT con 1.00% de ACP Tipo B - T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

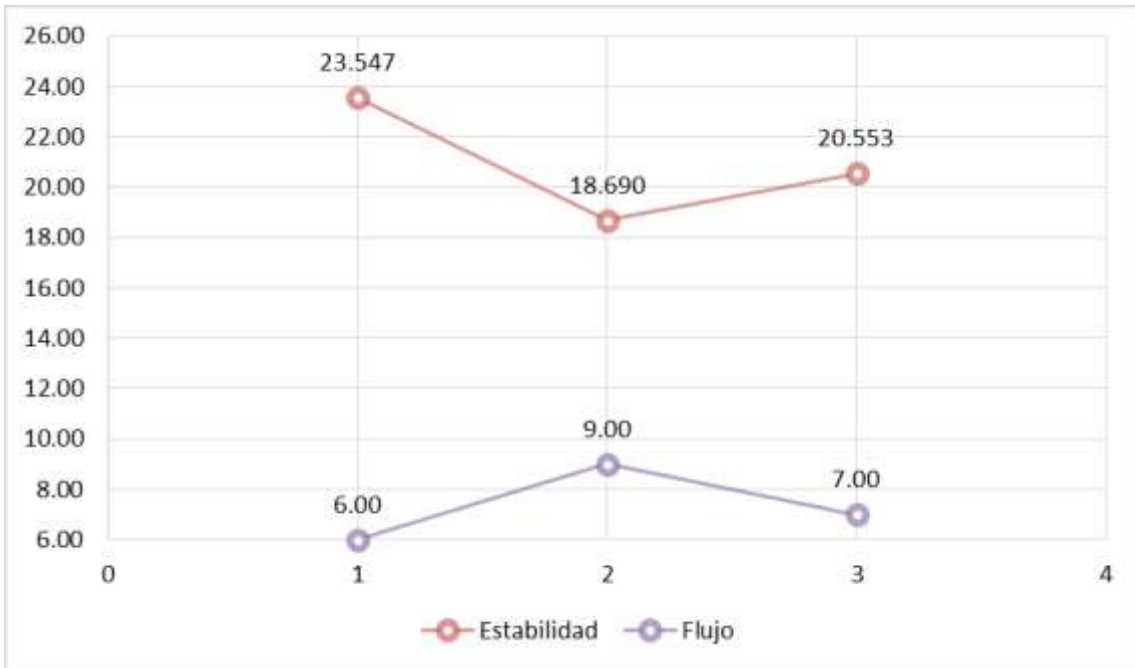


Figura 71: Figura de MAT con 1.50% de ACP Tipo B - T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

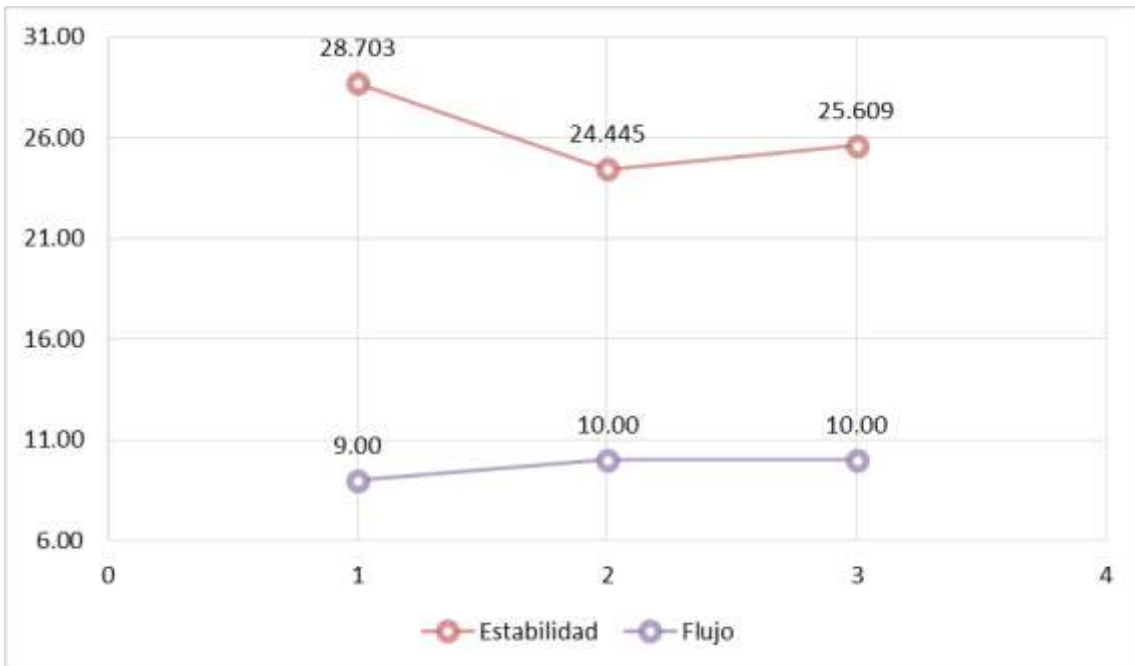


Figura 72: Figura de MAT con 2.00% de ACP Tipo B - T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

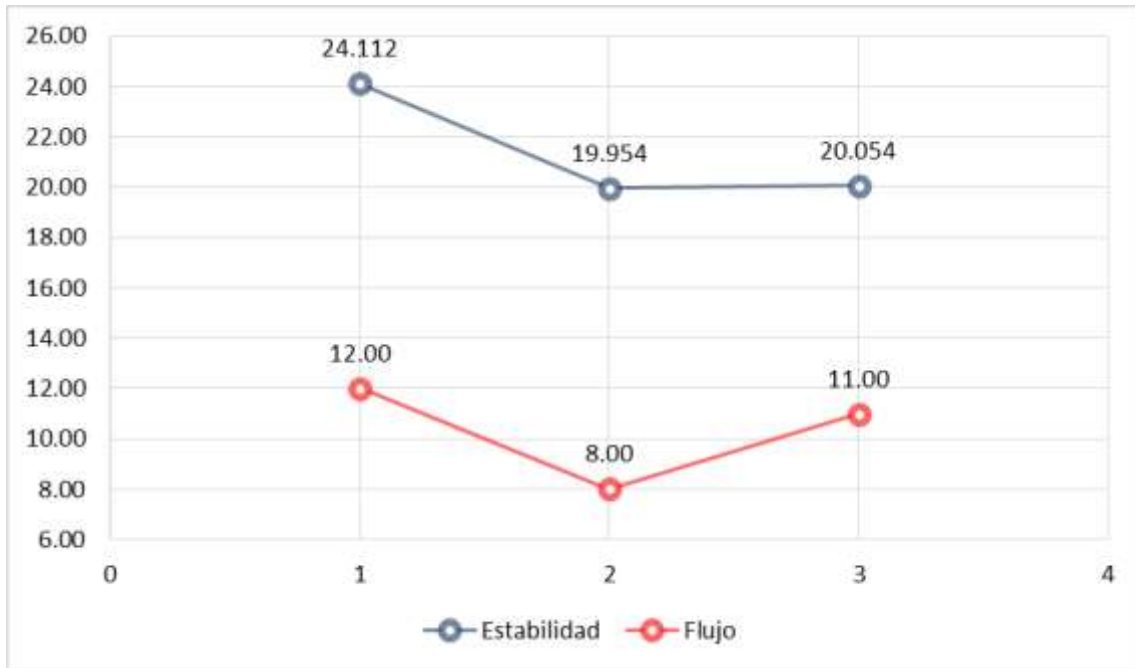


Figura 73: Figura de MAT con 2.50% de ACP Tipo B- T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

En los gráficos anteriores se pueden apreciar los resultados de mejor forma, observando la variación que existe entre los resultados de las 3 briquetas de cada porcentaje de ACP Tipo B en una MAT de tránsito pesado. Se puede apreciar que la variación que existe tanto para estabilidad como para flujo se mantiene en un rango menor comparado con los anteriores tránsitos.

Los resultados de la Tabla 47 se obtuvieron de 15 briquetas, 3 para cada porcentaje de ACP Tipo B, los cuales se promediaron resultando:

Tabla 47: Resultados Promedios de MAT Tipo B – Tránsito Pesado.

% de ACP	Tipo B	
	Estabilidad	Flujo
0.5%	22.02	8.17
1.0%	17.12	11.33
1.5%	20.93	7.33
2.0%	26.25	9.67
2.5%	21.37	10.33

Fuente: Elaboración Propia.

Estos resultados se muestran en las siguientes gráficas de barras, analizando Estabilidad y Flujo por separado:



Figura 74: Figura de Estabilidad de las MAT Tipo B - T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 74 se observa la variación que existe con respecto a la Estabilidad de los 5 porcentajes de ACP empleados. Siendo la MAT con el 2.0% de ACP Tipo B la que tiene un mayor valor de estabilidad (26.25 KN)

Se aprecia claramente que la estabilidad va decreciendo conforme se aumenta el porcentaje de ACP en la MAT.

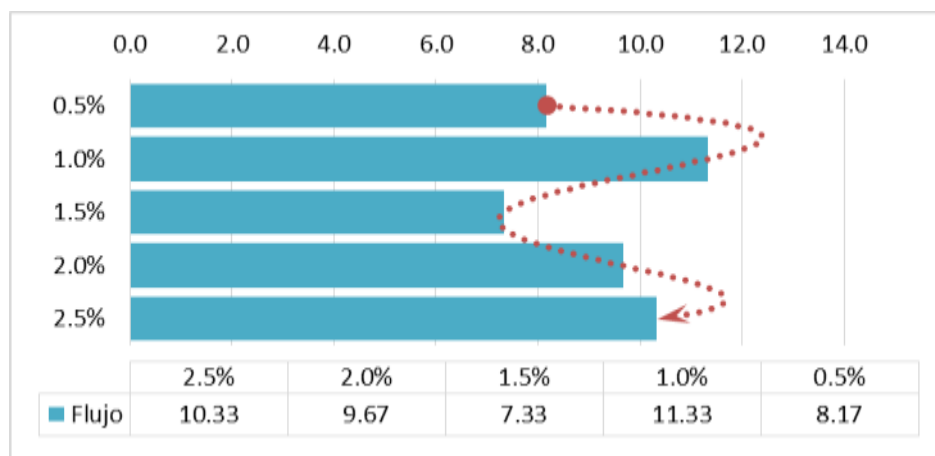


Figura 75: Figura de Flujo de las MAT Tipo B. – T. Pesado.
Fuente: Elaboración Propia.

Se aprecia que los resultados de Flujo de las MAT con ACP Tipo B para tránsito pesado tiene una variación pequeña con un rango de 7 a 11.

4.6 Comparación del resultado de ACP Tipo A y Tipo B.

Ahora presentamos la comparación entre los dos tipos de ACP para poder observar la mejor interacción de este material en la mezcla:

4.6.1 Para Tránsito Liviano.

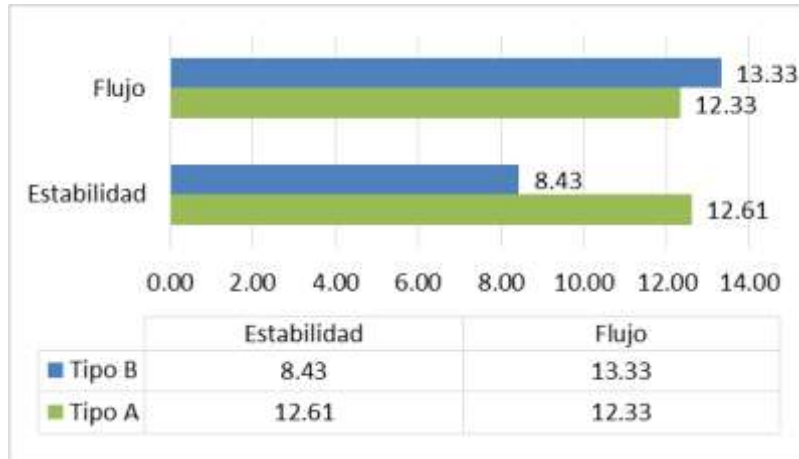


Figura 76: Figura de MAT para Tránsito Liviano con 0.5% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

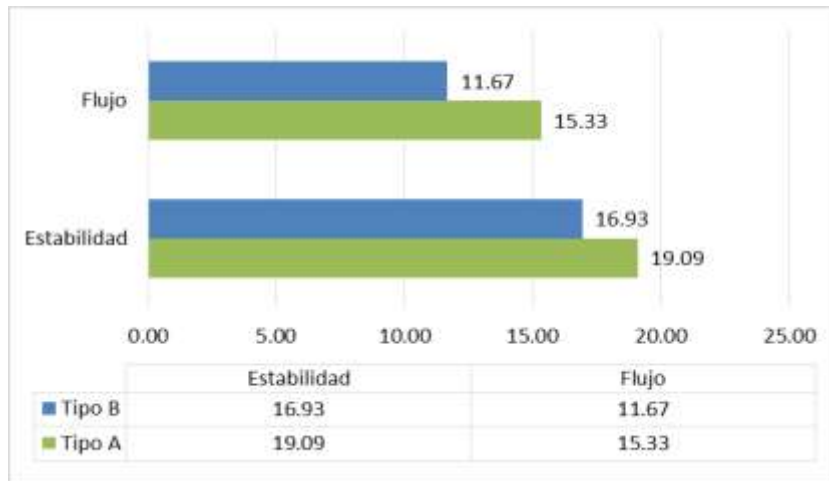


Figura 77: Figura de MAT para Tránsito Liviano con 1.0% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

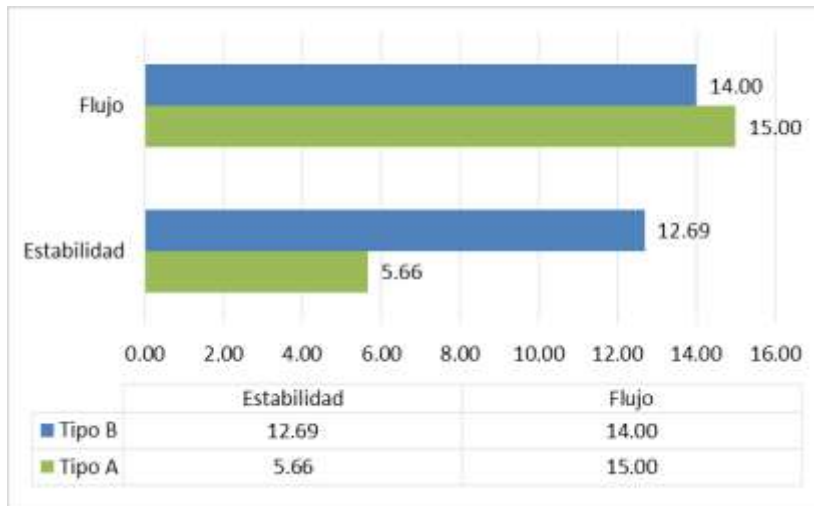


Figura 78: Figura de MAT para Tránsito Liviano con 1.5% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

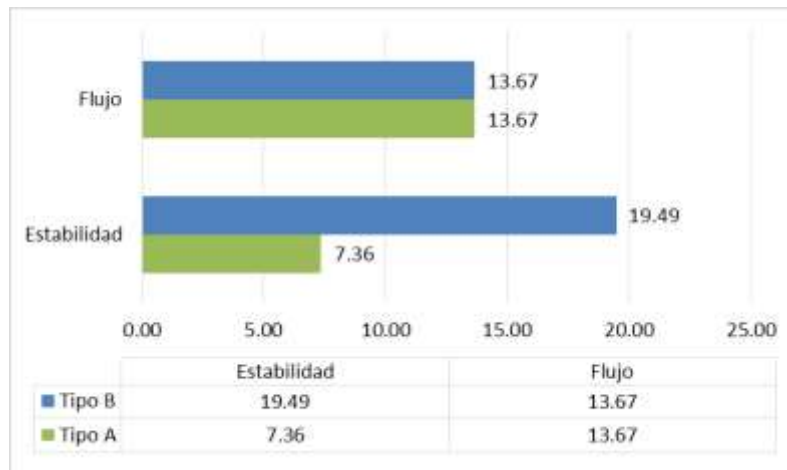


Figura 79: Figura de MAT para Tránsito Liviano con 2.0% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

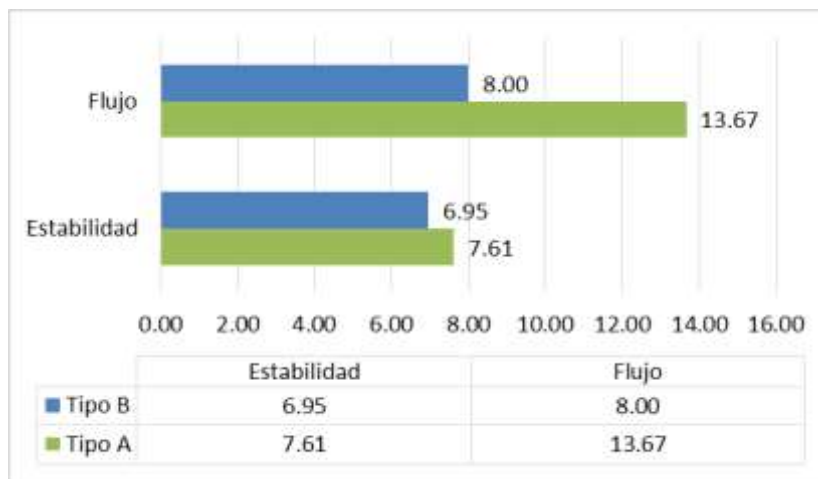


Figura 80: Figura de MAT para Tránsito Liviano con 2.5% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

De esta manera podemos determinar que la MAT en la cantidad de 1.0% de ACP Tipo A respecto al peso del asfalto es la que presenta mejor desempeño en los parámetros evaluados.

4.6.2 Para Tránsito Medio.

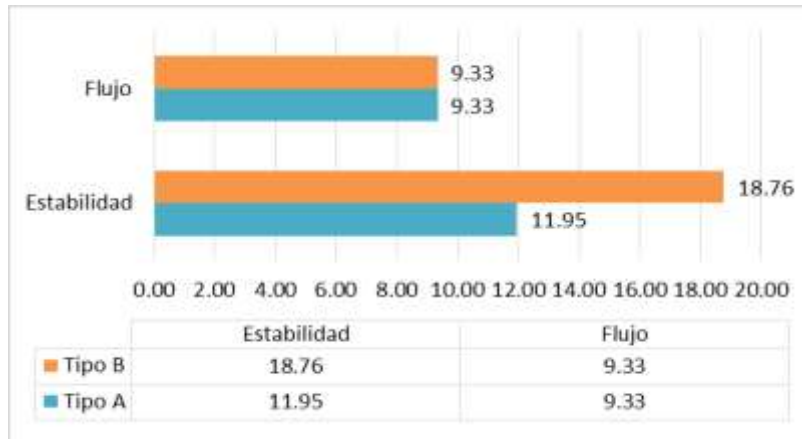


Figura 81: Figura de MAT para Tránsito Medio con 0.5% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

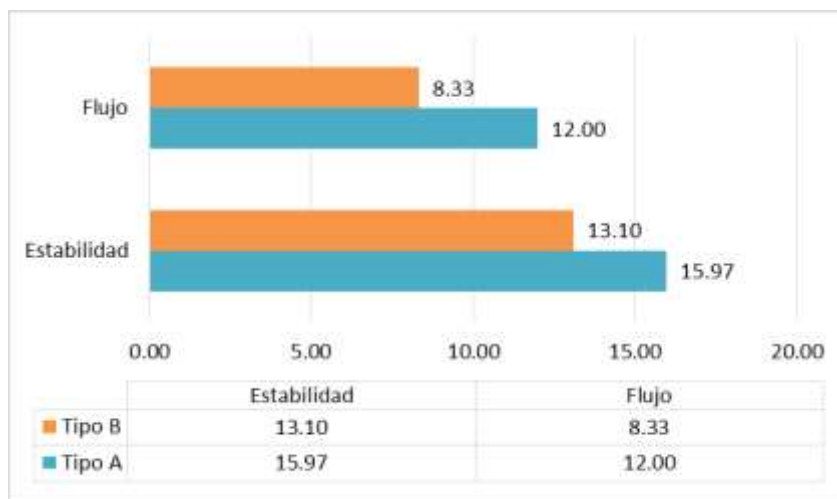


Figura 82: Figura de MAT para Tránsito Medio con 1.0% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

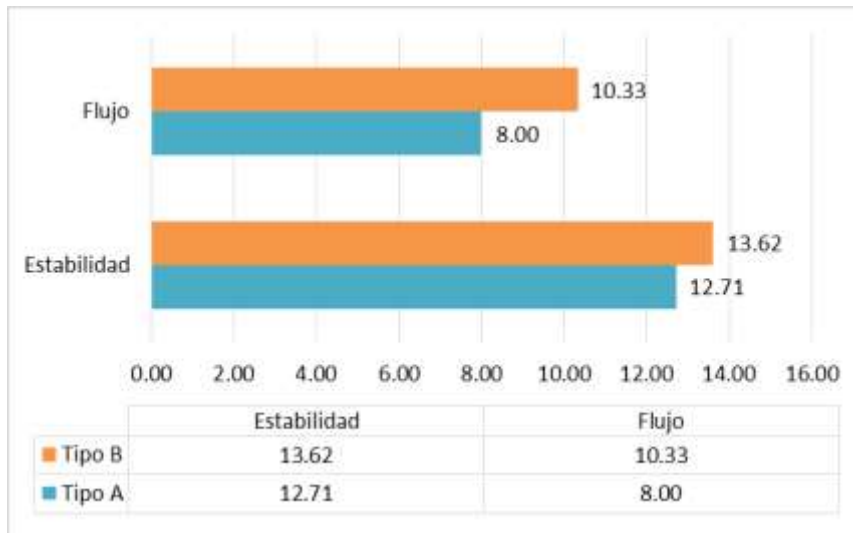


Figura 83: Figura de MAT para Tránsito Medio con 1.5% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

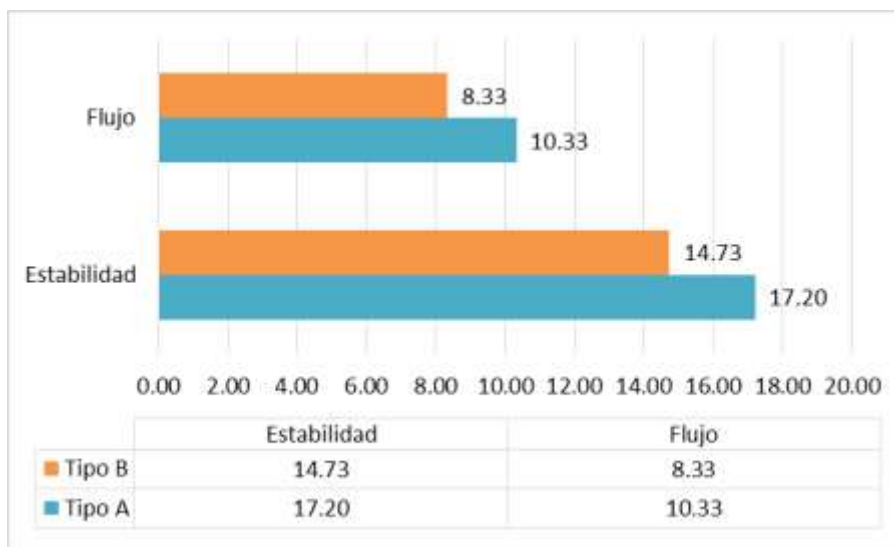


Figura 84: Figura de MAT para Tránsito Medio con 2.0% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

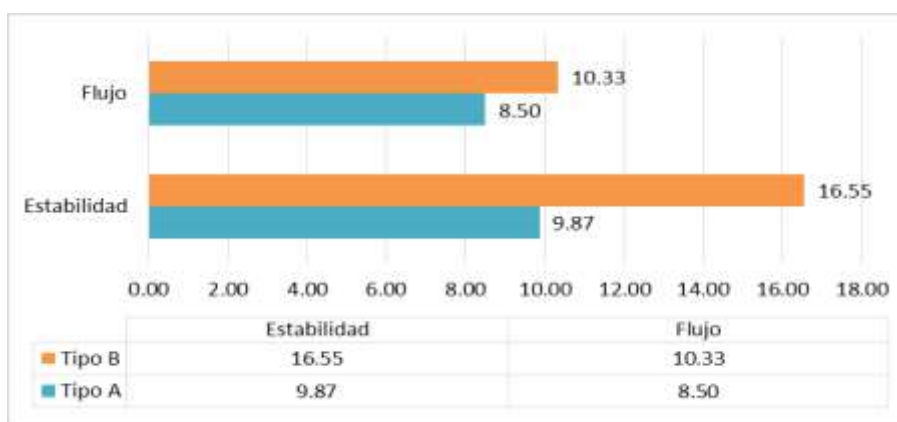


Figura 85: Figura de MAT para Tránsito Medio con 2.5% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

El ACP Tipo A es el que mejor resultado presenta, en la cantidad de 1.0% respecto al peso del asfalto. Se puede observar que el ACP Tipo A en la cantidad de 2.0% también presenta resultados buenos resultados, pero se prefirió usar el porcentaje de 1.0% por poseer una menor variación entre sus resultados (Ver figura 41).

4.6.3 Para Tránsito Pesado.

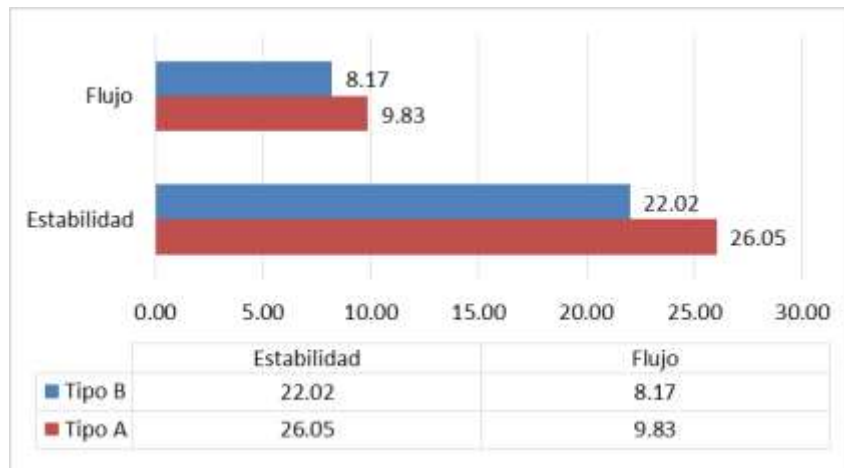


Figura 86: Figura de MAT para Tránsito Pesado con 0.5% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 87: Figura de MAT para Tránsito Pesado con 1.0% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 88: Figura de MAT para Tránsito Pesado con 1.5% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

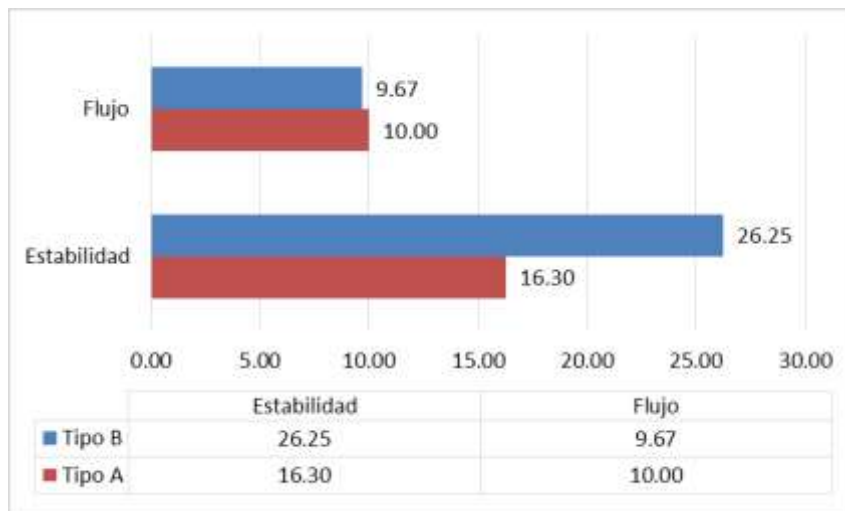


Figura 89: Figura de MAT para Tránsito Pesado con 2.0% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 90: Figura de MAT para Tránsito Pesado con 2.5% de ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

El ACP Tipo A en 0.5% tiene una buena respuesta en relación con los parámetros analizados; por otro lado, si se evalúa el Flujo podrá notarse que está en valores muy cercanos al límite, aun así, los resultados cumplen con los requisitos del MTC.

4.7 Porcentaje de Variación de Estabilidad y Flujo de una MAT con ACP, con respecto a la MAC tradicional.

Después de analizar el porcentaje con mejor desempeño en la mezcla para cada tipo de tránsito se evaluó su variación respecto a los parámetros de un MAC convencional. En las siguientes tablas mostramos estos resultados:

Tabla 48:
Variación Estabilidad y Flujo MAC Convencional – MAT con ACP.

ACP TIPO A AL 1.0% - TRÁNSITO LIVIANO			
PARÁMETROS	MAC Convencional	MAT (1.0% ACP Tipo A)	% de Variación
Estabilidad	8.27	19.09	130.91%
Flujo	10.33	15.33	48.39%
ACP TIPO A AL 1.0% - TRÁNSITO MEDIO			
PARÁMETROS	MAC Convencional	MAT (1.0% ACP Tipo A)	% de Variación
Estabilidad	14.40	15.97	10.95%
Flujo	11.67	12.00	2.86%
ACP TIPO A AL 0.5% - TRÁNSITO PESADO			
PARÁMETROS	MAC Convencional	MAT (0.5% ACP Tipo A)	% de Variación
Estabilidad	16.64	26.05	56.58%
Flujo	10.00	9.83	-1.67%

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos de estabilidad y flujo de la Tabla 48 son representados por separados en las siguientes graficas:



Figura 91: Figura de Comparación de la Estabilidad entre las MAC Convencionales y las MAT con ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 91 se observa la variación que indica la Tabla 48, en el tránsito liviano es donde presenta una mayor mejora en cuanto a Estabilidad se refiere, seguido del tránsito pesado.



Figura 92: Comparación del Flujo entre las MAC Convencionales y las MAT con ACP.
Fuente: Elaboración Propia.

En la presente figura se observan valores de estabilidad de las MAT con ACP superiores a los convencionales para el caso del tránsito liviano y medio, siendo éste último superior por muy poco. Mientras que para tránsito pesado no supera el valor del flujo de una MAC convencional aunque sigue estando en el rango de los valores normados.

4.8 Contrastación de la Hipótesis.

Para la contrastación de hipótesis se procedió a la realización de Pruebas con los indicadores de la variable Propiedades Mecánicas de la Mezcla Asfáltica. Los principales indicadores que hemos considerado son:

a) Estabilidad y Flujo para Tránsito Liviano.

Se evaluará la Estabilidad para un tránsito liviano con un Flujo promedio dentro de los rangos establecidos por el MTC.

Tabla 49:
Estabilidad para Tránsito Liviano de una MAC vs MAT con ACP.

BRIQUETA	% ASFALTO	MAC Convencional		MAT con 1.0% de ACP	
		ESTABILIDAD KN	FLUJO	ESTABILIDAD KN	FLUJO
L - 1	5.00%	8.58	10.00	19.422	16.00
L - 2	5.00%	7.88	11.00	19.222	17.00
L - 3	5.00%	8.35	10.00	18.624	13.00
PROMEDIO		8.27	10.33	19.09	15.33
VARIANZA		0.126		0.172	

Fuente: Elaboración Propia.

- **Formulación de Hipótesis.**

$$H_A: \mu_{cP} - \mu_{cA} < 0$$

$$8.27 - 19.09 < 0$$

$$-10.82 < 0$$

Donde:

H_A : Hipótesis Alternativa

μ_{cP} : Estabilidad de una MAC convencional

μ_{cA} : Estabilidad de una MAT con 1.0% de ACP

La estabilidad de una MAT con 1.0% de ACP para tránsito liviano es mayor a la estabilidad de una MAC convencional.

- **Nivel de significancia:** $\alpha = 0.05$
- **Estadístico de Prueba.**

$$T = \frac{\overline{X}_{cP} - \overline{X}_{cA}}{\sqrt{\frac{S_{cP}^2}{n_C} + \frac{S_{cA}^2}{n_A}}}$$

Donde:

\overline{X}_{cP} : Media de la estabilidad de la MAC convencional.

\overline{X}_{cA} : Media de la estabilidad de la MAT con 1.0% de ACP.

S_{cP}^2 : Varianza de la MAC convencional.

S_{cA}^2 : Varianza de la MAT con 1.0% de ACP.

n_C y n_A : Número de observaciones de la MAC convencional y de la MAT con 1.0% de ACP, respectivamente.

- **Región Crítica.**

$$r = \frac{\left(\frac{S_{cP}^2}{n_C} + \frac{S_{cA}^2}{n_A}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_{cP}^2}{n_C}\right)^2}{n_C - 1} + \frac{\left(\frac{S_{cA}^2}{n_A}\right)^2}{n_A - 1}}$$

$$r = 4.00$$

$$t_{(0.95,2)} = 2.132$$

- **Valor estadístico.**

$$t = \frac{8.27 - 19.09}{\sqrt{\frac{0.13}{3} + \frac{0.17}{3}}}$$

$$t = -34.29$$

- **Decisión.**

$t = -34.29 \in A$ la región crítica. Por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

- **Conclusión.**

A un 95% de confianza se estima que para un tránsito liviano la Estabilidad de una MAT con 1.0% de ACP es mayor a la Estabilidad de una MAC convencional.

b) Estabilidad y Flujo para Tránsito Medio.

Se evaluará la Estabilidad para un tránsito medio con un Flujo promedio dentro de los rangos establecidos por el MTC.

Tabla 50:

Estabilidad para Tránsito Medio de una MAC vs MAT con ACP.

BRIQUETA	% ASFALTO	MAC Convencional		MAT con 1.0% de ACP	
		ESTABILIDAD KN	FLUJO	ESTABILIDAD KN	FLUJO
M - 1	5.50%	13.73	16.00	14.000	15.00
M - 2	5.50%	14.83	8.00	17.792	10.00
M - 3	5.50%	14.63	11.00	16.129	11.00
PROMEDIO		14.40	11.67	15.97	12.00
VARIANZA		0.344		3.613	

Fuente: Elaboración Propia.

- **Formulación de Hipótesis.**

$$H_A: \mu_{cP} - \mu_{cA} < 0$$

$$14.40 - 15.97 < 0$$

$$-1.57 < 0$$

Donde:

H_A : Hipótesis Alternativa

μ_{cP} : Estabilidad de una MAC convencional

μ_{cA} : Estabilidad de una MAT con 1.0% de ACP

La estabilidad de una MAT con 1.0% de ACP para tránsito medio es mayor a la estabilidad de una MAC convencional.

- **Nivel de significancia:** $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de Prueba.**

$$T = \frac{\bar{X}_{cP} - \bar{X}_{cA}}{\sqrt{\frac{S_{cP}^2}{n_C} + \frac{S_{cA}^2}{n_A}}}$$

Donde:

\bar{X}_{cP} : Media de la estabilidad de la MAC convencional.

\bar{X}_{cA} : Media de la estabilidad de la MAT con 1.0% de ACP.

S_{cP}^2 : Varianza de la MAC convencional.

S_{cA}^2 : Varianza de la MAT con 1.0% de ACP.

n_c y n_A : Número de observaciones de la MAC convencional y de la MAT con 1.0% de ACP, respectivamente.

- **Región Crítica.**

$$r = \frac{\left(\frac{S_{cP}^2}{n_c} + \frac{S_{cA}^2}{n_A}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_{cP}^2}{n_c}\right)^2}{n_c - 1} + \frac{\left(\frac{S_{cA}^2}{n_A}\right)^2}{n_A - 1}}$$

$$r = 2.38$$

$$t_{(0.95,2)} = 2.705$$

- **Valor estadístico.**

$$t = \frac{14.40 - 15.97}{\sqrt{\frac{0.34}{3} + \frac{3.61}{3}}}$$

$$t = -1.37$$

- **Decisión.**

$t = -1.37$ \nexists a la región crítica. Por tanto se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

- **Conclusión.**

A un 95% de confianza se estima que para un tránsito medio la Estabilidad de una MAT con 1.0% de ACP no es lo suficientemente mayor a la Estabilidad de una MAC convencional.

c) Estabilidad y Flujo para Tránsito Pesado.

Se evaluará la Estabilidad para un tránsito pesado con un Flujo promedio dentro de los rangos establecidos por el MTC.

Tabla 51:*Estabilidad para Tránsito Pesado de una MAC vs MAT con ACP.*

BRIQUETA	% ASFALTO	MAC Convencional		MAT con 0.5% de ACP	
		ESTABILIDAD KN	FLUJO	ESTABILIDAD KN	FLUJO
P - 1	5.50%	16.73	10	27.14	9.00
P - 2	5.50%	16.23	11.00	24.911	10.50
P - 3	5.50%	16.96	9.00	26.108	10.00
PROMEDIO		16.64	10.00	26.05	9.83
VARIANZA		0.140		1.244	

Fuente: Elaboración Propia.

- **Formulación de Hipótesis.**

$$H_A: \mu_{cP} - \mu_{cA} < 0$$

$$16.64 - 26.05 < 0$$

$$-9.41 < 0$$

Donde:

 H_A : Hipótesis Alternativa μ_{cP} : Estabilidad de una MAC convencional μ_{cA} : Estabilidad de una MAT con 0.5% de ACP

La estabilidad de una MAT con 0.5% de ACP para tránsito pesado es mayor a la estabilidad de una MAC convencional.

- **Nivel de significancia:** $\alpha = 0.05$

- **Estadístico de Prueba.**

$$T = \frac{\bar{X}_{cP} - \bar{X}_{cA}}{\sqrt{\frac{S_{cP}^2}{n_C} + \frac{S_{cA}^2}{n_A}}}$$

Donde:

 \bar{X}_{cP} : Media de la estabilidad de la MAC convencional. \bar{X}_{cA} : Media de la estabilidad de la MAT con 0.5% de ACP. S_{cP}^2 : Varianza de la MAC convencional. S_{cA}^2 : Varianza de la MAT con 0.5% de ACP.

n_c y n_A : Número de observaciones de la MAC convencional y de la MAT con 0.5% de ACP, respectivamente.

- **Región Crítica.**

$$r = \frac{\left(\frac{S_{cP}^2}{n_c} + \frac{S_{cA}^2}{n_A}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_{cP}^2}{n_c}\right)^2}{n_c - 1} + \frac{\left(\frac{S_{cA}^2}{n_A}\right)^2}{n_A - 1}}$$

$$r = 2.44$$

$$t_{(0.95,2)} = 2.671$$

- **Valor estadístico.**

$$t = \frac{16.64 - 26.05}{\sqrt{\frac{0.14}{3} + \frac{1.24}{3}}}$$

$$t = -13.86$$

- **Decisión.**

$t = -13.86 \in$ a la región crítica. Por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

- **Conclusión.**

A un 95% de confianza se estima que para un tránsito pesado la Estabilidad de una MAT con 0.5% de ACP es mayor a la Estabilidad de una MAC convencional.

4.9 Discusión de los Resultados.

4.9.1 Discusión 1.

Se elaboraron los ensayos de calidad para los agregados que intervienen en la mezcla, comprobando que cumplen con todos los rangos, valores mínimos y máximos que indica el MTC en su "Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013" en los diferentes ensayos realizados.

4.9.2 Discusión 2.

Para el diseño de mezclas convencional se ensayó con un porcentaje de cemento asfáltico PEN 60/70. Se elaboraron 3 briquetas con porcentajes de asfalto de 5.0%, 5.5% y 6.0% para cada tipo de tránsito y poder así encontrar el porcentaje mínimo de asfalto que satisfaga las condiciones dadas en el Manual de Carreteras del MTC según el tipo de tránsito que sea.

En las figuras 28, 29 y 30 se aprecian los resultados para tránsito liviano, medio y pesado respectivamente. Indicando el porcentaje óptimo de asfalto de 5.0% para tránsito liviano y 5.5% para tránsito medio y pesado.

4.9.3 Discusión 3.

La incorporación de ACP (aceite crudo de palma) influye de manera positiva la mezcla asfáltica, incrementando su estabilidad y mejorando la interrelación del flujo con la estabilidad. Para esto se empleó ACP en las siguientes dos (02) tipos: Industrial y Artesanal. Y también en cinco (05) diferentes porcentajes: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5% del peso total del asfalto.

Con los resultados de Estabilidad y Flujo obtenidos del equipo Marshall para briquetas con los 2 tipos de ACP utilizados, se elaboraron tablas y figuras en donde se presentan los promedios de dichos resultados. Esto se puede apreciar en el ítem 4.4 para el ACP Tipo A y 4.5 para el ACP Tipo B del presente.

Se evaluaron los resultados para elegir el mejor porcentaje de ACP que adicionado a la mezcla asfáltica mejore las características mecánicas (estabilidad y flujo) para cada tipo de tránsito, obteniéndose 3 porcentajes de ACP: 1.0% para tránsito liviano y medio y 0.5% para tránsito pesado.

Los porcentajes obtenidos son del Tipo A de ACP (ACP industrial), por lo que se deduce que el tipo de ACP para emplearse en una MAT es del tipo industrial.

4.9.4 Discusión 4.

En la tabla 48 se muestran los resultados de las variaciones de una MAC convencional con las MAT según el tipo de tránsito, se observa que el porcentaje de variación es muy alto para un tránsito liviano mientras que para el tránsito medio la variación, aunque siendo superior a la MAC convencional, es muy baja para considerarse como una mejora en sus características mecánicas (estabilidad y flujo).

Para el tránsito pesado se aprecia que tiene un notable aumento en cuanto a estabilidad se refiere, pero si se evalúa el flujo se observa que no supera los valores de una MAC convencional aunque sigue estando en el rango establecido por el MTC.

4.9.5 Condiciones y Limitaciones del uso del ACP en una MAT.

- Se debe prever la disponibilidad de la principal materia prima: ACP. En este estudio se ha hecho uso de ACP proporcionado por la empresa Industrias del Espino S.A. Puesto que en nuestra ciudad, y en general la región, no hay producción de ésta materia prima.
- Según la evaluación realizada, el uso del ACP es recomendable para los tipos de tránsito reglamentados por el MTC. Sin embargo, se debe considerar la posibilidad de que en incrementos o disminuciones excesivas en su uso, presente valores fuera de los límites de la normativa vigente.
- El uso del ACP en una Mezcla Asfáltica con mejores propiedades mecánicas que una MAC convencional se limita a sólo tránsito liviano y pesado que demostraron tener una mayor variación en cuanto a estabilidad refiere.
- Además, el diseño ha sido realizado en función a las características climáticas de esta región, con los agregados pétreos y cemento asfáltico 60/70 provenientes de la Planta de Asfalto “La Pluma” del Gobierno Regional de Lambayeque.

**CAPITULO V:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.

Los ensayos de calidad para los agregados que intervienen en la mezcla, comprobaron que cumplen con todos los rangos, valores mínimos y máximos que indica el MTC en su “Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013” en los diferentes ensayos realizados.

El porcentaje de asfalto óptimo obtenido fue de 5.00% para tránsito liviano y 5.50% para tránsito medio y pesado, cumpliendo en todos los casos los parámetros de estabilidad y flujo.

Se determinó que el tipo de aceite crudo de palma más adecuado para el uso en MAT es del tipo industrial (Tipo A).

Se encontró que el ACP mejora las características mecánicas (estabilidad y flujo) para cada tipo de tránsito en los siguientes porcentajes: 1.0% para tránsito liviano y medio y 0.5% para tránsito pesado.

La adición de ACP en 1% para tránsito liviano mejora los parámetros de estabilidad y flujo respecto a una MAC convencional en 131% y 48%. Para el tránsito medio resultó un aumento de 11% en estabilidad y en 3% en flujo en comparación con la MAC convencional. Con la combinación de ACP en la cantidad de 0.5% para tránsito pesado se obtuvo un incremento en 57% en estabilidad, pero el flujo disminuye en -1.67%.

El uso del ACP en una Mezcla Asfáltica con mejores propiedades mecánicas que una MAC convencional se limita a sólo tránsito liviano y pesado que demostraron tener una mayor variación en cuanto a estabilidad refiere.

5.2. Recomendaciones.

Se propone realizar investigaciones de tramos de prueba en donde se evalúe su comportamiento ante la acción real de móviles.

Se puede plantear un estudio sobre la reducción de contaminantes ambientales a la hora de calentar el MAT y añadiendo el ACP, para verificar también si el ACP influye también de manera positiva en el ambiente.

Se sugiere estudiar las MAT (mezclas asfálticas tibias) con adición ACP (aceite crudo de palma) para distintas condiciones geográficas de nuestro país y diferentes tipos de PEN, logrando evaluar los resultados cuando se comparen entre las diferentes regiones del Perú.

Según la evaluación realizada, el uso del ACP es recomendable para los tipos de tránsito reglamentados por el MTC. Sin embargo, se debe considerar la posibilidad de que, en incrementos o disminuciones excesivas en su uso, presente valores fuera de los límites de la normativa vigente.

Realizar pruebas in situ con esta nueva modalidad del asfalto en tibio con ACP para ver si en los proyectos viales cumple con las características principales del asfalto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcón, A. (2016) *“COMPORTAMIENTO MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE, EMPLEANDO CAL, EN LOS AEROPUERTOS DEL SUR DE PERÚ”*. Tesis, 58-59. Recuperado desde: <http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/727/TESIS%20DE%20A%20DELAIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alarcón, J. (2003). *“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS BITUMINOSAS RECICLADAS EN CALIENTE EN PLANTA”*. Tesis doctoral. Recuperado, desde: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93221/11CAPITULO4a.pdf?sequence=11&isAllowed=y>

Álvarez, A., Aaron, A., & Kirby, C. (2013). *“EVALUACIÓN DE LABORATORIO DE LA COMPACTIBILIDAD Y EL DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS”*. Revista EIA, (19), 111-121. Recuperado, desde: <http://www.redalyc.org/pdf/1492/149228694010.pdf>

Álvarez, A., Carvajal, J., & Reyes, O. (2012). *“ESTRUCTURA INTERNA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS COMPACTADAS EN LABORATORIO”*. DYNA, 79(172), 38-45. Recuperado, desde: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532012000200004

Álvarez, A., Macías, N., & Fuentes, L. (2012). *“ANÁLISIS DE VACÍOS CONECTADOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS”*. DYNA, 79(172), 29-37. Recuperado, desde: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532012000200003&script=sci_arttext&tlng=en

Andrade, S. (2015) *“CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA”*. Tesis, (2), 20-22. Recuperado, desde:

<https://es.scribd.com/document/338072948/Tesis-Estudio-Para-Conocer-La-Resistencia-Al-Desgaste-de-Una-Mezcla-Asfaltica-Tibia-Empleando-Aditivo-Tb1>

Cáceres, C. (2007). “*DISEÑO DE MARSHALL*”. Tesis, (1), 4-11. Recuperado, desde:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/caceres_m_ca/capitulo_1.html

Celis, L. & Serrano, C. (2008). “*DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA TIBIA*” Tesis, 55-56. Recuperado, desde:

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1921/2/128645.pdf>

Coronado, L. (2011) “*DISEÑO Y PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS, A PARTIR DE LA MAZCLA DE ASFALTO Y ACEITE CRUDO DE PALMA*”. Tesis, 33-35. Recuperado, desde:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/5438/1/15507009.2011.pdf>

Larsen, D., Daguerre, L., Williams, E., Asurmendi, A. & Ferrín, L. (2010). “*APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS EN LA CIUDAD AUTONOMA DE BUENOS AIRES - TRAMOS EXPERIMENTALES*”. Revista, 7-8. Recuperado, desde:

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/17740/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1

Lopera, C., & Córdoba, J. (2013). “*DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA A PARTIR DE LA MEZCLA DE ASFALTO Y ACEITE CRUDO DE PALMA*”. DYNA, 80(179), 99-108. Recuperado, desde:

<file:///C:/Users/Equipo/Downloads/DISE%C3%BDO+DE+MEZCLA+ASF%C3%BDLTICA+TIBIA+A+PARTIR+DE+LA+MEZCLA+DE+ASFALTO+Y+ACEITE+CRUDO+DE+PALMA.pdf>

Manual de Carreteras, EG – 2013. Especificaciones técnicas generales para construcción. Recuperado, desde:

https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20de%20Carreteras%20-

[%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013\).pdf](#)

Méndez, G., Moran, J. & Pineda, L. (2014) “*DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA TIBIA, MEDIANTE LA METODOLOGIA MARSHALL, UTILIZANDO ASFALTO ESPUMADO*”. Tesis, 182-183. Recuperado, desde:
[http://ri.ues.edu.sv/6286/1/Dise%C3%B1o%20de%20mezcla%20asf%C3%A1ltica%20tibia%2C%20mediante%20la%20metodolog%C3%ADa%20Marshall%2C%20Utilizando%20asfalto%20espumado.pdf](#)

Ortega, J., Paternina, A. (2012) “PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DE MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS EN LA CIUDAD DE MEDELLIN”. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Recuperado, desde:
[http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/347/Propuesta%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20mezclas%20asf%C3%A1lticas%20tibias%20en%20la%20ciudad%20de%20Medell%C3%ADn.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

Padilla, A. (2004) “*MEZCLAS ASFÁLTICAS CALIENTES (MAC)*”. Revista, (3), 47-48. Recuperado, desde:
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14](#)

Perleche, J., Vilchez, Grace. (2015) “*DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICCIÓN DE CAL HIDRATADA EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE*”. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Recuperado, desde:
[http://repositorio.uss.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/uss/1070/INGENIER%C3%8DA%20CIVIL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

Ulloa, A. (2011) “*MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS (MAT)*”. Revista PITRA, 2(15), 1-6. Recuperado, desde:

<http://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/364/15.pdf?sequence=1>

ANEXOS