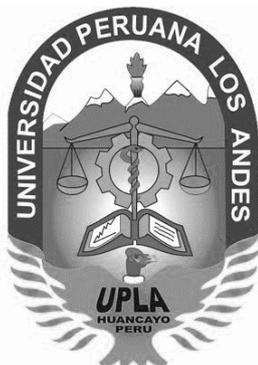


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



## **TESIS**

APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA PARA  
LA MODIFICACIÓN DE ASFALTOS  
CONVENCIONALES MEDIANTE POLIMEROS  
EN EL PAVIMENTO DE LA CARRETERA  
PILCOMAYO - CHUPACA 2016

LINEA DE INVESTIGACION: TRANSPORTES Y URBANISMO

PRESENTADO POR:

Bach. GENDERSON BILLY ESTRELLA DAVILA  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

HUANCAYO – PERÚ  
2016

**HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO DE  
SUSTENTACION DE TESIS**

---

Dr. Casio Aurelio Torres López  
Presidente

---

.....  
Jurado

---

.....  
Jurado

---

.....  
Jurado

---

Mg. Miguel Ángel, Carlos Canales  
Secretario Docente

Ing. Yina Ninahuanca Zavala.

**ASESORA**

#### **DEDICATORIA:**

Dedico esta investigación a las personas que constantemente me brindaron su apoyo en momentos difíciles a lo largo de mi formación profesional, especialmente a mis Padres Olga y Sli.

**GENDERSON BILLY  
ESTRELLA DAVILA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento al Decano de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana los Andes, Docentes de la Facultad de Ingeniería Civil por su invaluable aporte al desarrollo de las ciencias de la ingeniería y su preocupación por motivarnos en el desarrollo de la investigación científica.

A mis padres que a lo largo de mi vida me han ido apoyando en mi formación, creyendo en mí en todo momento.

A la Asesora Ing. Yina Ninahuanca Zavala, por sus indicaciones y recomendaciones en el campo metodológico de la Ingeniería Civil, quien con sus aptitud y talento me condujeron exitosamente en el camino de la investigación.

Por último y no menos importante agradezco a esta prestigiosa universidad la cual abrió sus puertas a jóvenes como yo, preparándonos para ser competitivos en el campo laboral.

**GENDERSON BILLY  
ESTRELLA DAVILA**

## INDICE DE CONTENIDOS

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS .....	ii
ASESORA.....	iii
DEDICATORIA: .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
INDICE DE CONTENIDOS.....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	xvi
INDICE DE TABLAS .....	xviii
RESUMEN .....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
INTRODUCCION.....	xxv
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA .....	2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL .....	2
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION .....	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	2
1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.....	2
1.4.1. JUSTIFICACION METODOLOGICA .....	2
1.4.2. JUSTIFICACION SOCIAL O PRACTICA .....	3
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION .....	3
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACION .....	4
1.7. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION.....	4
1.7.1. ESPACIAL .....	4
1.7.2. TEMPORAL .....	4
1.8. INFORMACION DE LA UNIDAD DE ANALISIS .....	4
1.8.1. UBICACIÓN .....	4
1.8.2. LIMITES .....	6
1.8.3. CLIMA .....	6
1.8.4. TEMPERATURA.....	6
1.8.5. TOPOGRAFIA .....	7
1.8.6. SUELOS .....	7
1.8.7. HIDROLOGIA.....	9
1.8.8. PRECIPITACIONES.....	9
1.8.9. SITUACION URBANA.....	10
1.8.10. SERVICIO PUBLICOS.....	11
a. SALUD .....	11
b. EDUCACION.....	12
c. AGUA POTABLE.....	12
d. DESAGÜE .....	13
e. ENERGIA ELECTRICA .....	14

f. VIAS DE COMUNICACIÓN .....	14
1.8.11. ASPECTOS PRODUCTIVOS .....	14
a. POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA (PEA).....	14
b. ACTIVIDAD AGRICOLA .....	15
c. ACTIVIDAD PECUARIA.....	16
d. ACTIVIDAD TURISTICA .....	16
1.8.12. ESTUDIO DE TRAFICO .....	16
CAPITULO II MARCO TEORICO .....	19
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN:.....	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES:.....	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES: .....	20
2.2. BASE TEORICA .....	23
2.2.1. CARACTERISTICAS FISICAS DE UNA CALZADA .....	23
a. ESQUEMA DEL CICLO DE CONSERVACIÓN VIAL PREVENTIVA.....	23
2.2.2. PAVIMENTO .....	25
a. PAVIMENTO FLEXIBLE .....	25
b. ESTRUCTURA BÁSICA DEL PAVIMENTO .....	25
b.1. BASE .....	26
b.2. SUB-BASE.....	26
b.3. CAPA DE RODADURA.....	26
c. MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	27
c.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
c.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	27
c.2.1. MANTENIMIENTO NORMAL .....	28
c.2.2. MANTENIMIENTO DE EMERGENCIA.....	35
d. CALIDAD .....	35
d.1. CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.....	35
d.1.1. SISTEMA DEL CONTROL DE CALIDAD .....	36
d.1.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	36
d.1.3. PRUEBAS DE LABORATORIO.....	37
d.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES .....	43
d.2.1. ASFALTOS .....	44
d.3. ENDURECIMIENTO Y ENVEJECIMIENTO .....	45
e. MEZCLA ASFÁLTICA .....	50
e.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	50
e.1.1. DENSIDAD.....	50
e.1.2. VACÍOS DE AIRE.....	51
e.1.3. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VAM).....	51
e.2. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA .....	52
e.3. PROPIEDADES DESEADAS EN LAS MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE .....	53
e.4. CRITERIOS A CONSIDERARACIONES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS .....	56
e.5. TIPOS DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA MANTENIMIENTOS.....	57
e.5.1. TIPOS DE MEZCLA ASFÁLTICA SEGÚN DISTINTAS VARIABLES.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
e.5.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.....	58
e.5.3. MEZCLAS ASFÁLTICA EN FRÍO .....	60

f.	PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO MARSHALL.....	60
f.1.	SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL.....	60
f.2.	SELECCIÓN DEL TIPO DE MEZCLA.....	61
f.3.	EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.....	61
f.4.	PROPORCIONAMIENTO DE AGREGADOS Y ASFALTOS.....	61
f.5.	PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE ENSAYO .....	61
f.6.	ENSAYOS MARSHALL.....	61
f.7.	DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO TOTAL .....	62
f.8.	ENSAYOS DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA. – .....	62
f.9.	ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS.....	63
f.9.1.	ANÁLISIS DE VACÍOS.....	63
f.9.2.	ANÁLISIS DE PESO UNITARIO .....	63
f.9.3.	ANÁLISIS DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA).....	63
f.9.4.	ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (VFA).....	63
f.10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO MARSHALL .....	65
g.	ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO.....	66
g.1.	COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO .....	66
g.2.	INDICADORES DE COMPORTAMIENTO. ....	67
g.2.1.	TERRENO DE FUNDACIÓN: .....	67
g.2.2.	SUB – BASE: .....	67
g.2.3.	BASE: .....	67
g.3.	CONDICIONES DE LA CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE.....	68
g.3.1.	GENERALIDADES.....	68
g.4.	TIPOLOGIA DE DAÑOS.....	71
2.2.3.	POLÍMEROS .....	75
a.	DEFINICIÓN.....	75
b.	CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS .....	75
b.1.	CLASIFICACIÓN POR SU ESTRUCTURA QUÍMICA. - .....	75
b.2.	CLASIFICACIÓN POR SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO .....	76
b.3.	CLASIFICACIÓN POR SU DESEMPEÑO MECÁNICO. - .....	76
c.	PROPIEDADES DE LOS POLIMEROS.....	77
c.1.	BAJO PESO ESPECÍFICO.....	77
c.2.	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	77
c.3.	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA.....	78
c.4.	DURABILIDAD .....	78
d.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL POLÍMERO EVA.....	78
d.1.	ETILENO – VINIL – ACETATO (EVA).....	78
d.2.	ESTRUCTURA QUÍMICA Y SÍNTESIS .....	79
d.3.	PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.....	81
e.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL POLÍMERO SBR .....	82
e.1.	PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS .....	82
f.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL POLÍMERO SBS.....	82
f.1.	ESTRUCTURA QUÍMICA Y SÍNTESIS .....	83
f.2.	PROPIEDADES.....	83
f.3.	USOS.....	84
g.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CAUCHO .....	84
g.1.	PROPIEDADES.....	84

g.2. USOS Y APLICACIONES.....	85
h. POLÍMEROS UTILIZADOS EN LA MODIFICACIÓN DE ASFALTOS .....	85
h.1. ACETATO DE ETILO .....	85
h.2. ACETATO DE VINILO .....	85
h.3. ESTIRENO LIQUIDO.....	85
h.4. BUTADIENO .....	85
i. COMPATIBILIDAD ASFALTO POLÍMERO .....	86
j. PRINCIPALES MODIFICADORES UTILIZADOS EN EL ASFALTO.....	86
j.1. ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS TIPO ELASTÓMEROS .....	86
j.2. LÁTEX, HULE NATURAL, SBS .....	87
j.3. HULE DE LLANTA .....	88
j.4. ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS TIPO PLASTOMEROS .....	88
j.5. POLIETILENO.....	89
j.6. PVC .....	90
j.7. EVA .....	90
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	91
2.4. FORMULACION DE HIPOTESIS.....	93
2.4.1. HIPOTESIS GENERAL.....	93
2.4.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS .....	93
2.5. VARIABLES.....	94
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	94
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE .....	94
2.6. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	95
CAPITULO III METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....	96
3.1. METODO DE INVESTIGACION.....	96
3.2. TIPO DE INVESTIGACION .....	96
3.3. NIVEL DE INVESTIGACION .....	96
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACION .....	97
3.5. POBLACION Y MUESTRA.....	97
3.5.1. POBLACION .....	97
3.5.2. MUESTRA .....	97
3.6. TECNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	98
3.6.1. OBSERVACION-INDUCTIVA.....	98
a. OBSERVACION .....	98
a.1. AGREGADOS PETREOS.....	98
a.2. ASFALTO .....	98
a.3. BRIQUETAS .....	98
b. INDUCTIVA .....	99
3.7. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION DE DATOS .....	99
3.8. DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTOS.....	100
3.8.1. ESTUDIO DE AGREGADOS PÉTREOS .....	100
3.8.2. ESTUDIO DE ASFALTOS.....	100
3.8.3. DESARROLLO DE LA MODIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON POLÍMEROS EVA SBS SBR Y HULE DE CAUCHO.....	101

3.8.4. PRUEBA DE LABORATORIO Y ENSAYOS A REALIZARSE AGREGADOS GRUESO Y FINOS	101
.....	101
a. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (basado en ASTM C 136-01).	101
a.1. OBJETIVO:	101
a.2. PRINCIPIO TEÓRICO:	101
a.3. EQUIPOS Y MATERIALES.	101
a.3.1. EQUIPOS	101
a.3.2. MATERIALES	101
a.4. PROCEDIMIENTO:	102
a.4.1. FRACCIÓN GRANULAR GRUESA:	102
a.4.2. FRACCIÓN GRANULAR FINA	102
a.5. RESULTADO:	102
b. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS EMPLEADOS LA NORMA ASTM C 128 (AASHTO T84).	102
b.1. OBJETIVO	102
b.2. PRINCIPIO TEÓRICO	103
b.3. EQUIPO	103
b.4. PROCEDIMIENTO	103
b.5. CALCULOS	104
c. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS EMPLEANDO LA NORMA ASTM C 127 (AASHTO T 85)	105
c.1. OBJETIVO	105
c.2. PRINCIPIO TEÓRICO	105
c.3. EQUIPO	105
c.4. PROCEDIMIENTO	105
c.5. CÁLCULOS	106
d. DETERMINACIÓN DEL VALOR “EQUIVALENTE DE ARENA” DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS APLICANDO LA NORMA ASTM D 2419	106
d.1. OBJETIVO	106
d.2. PRINCIPIO TEÓRICO	107
d.3. EQUIPO	107
d.4. PROCEDIMIENTO	107
d.5. CÁLCULOS	108
e. ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO USANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES PARA MATERIALES PÉTREOS DE LA CANTERA EMPLEANDO LA NORMA AASHTO T 96 (ASTMC 131).	108
e.1. OBJETIVO	108
e.2. PRINCIPIO TEÓRICO	108
e.3. EQUIPO	108
e.4. PROCEDIMIENTO	109
e.5. CALCULOS	109
f. ENSAYO DETERMINACIÓN LIMITE PLÁSTICO PARA LOS MATERIALES PÉTREOS DE LA CANTERA EMPLEANDO LA NORMA ASTM D 4313	110
f.1. OBJETIVO	110
f.2. PRINCIPIO TEÓRICO	110
f.3. EQUIPO	110

f.4. PROCEDIMIENTO.....	110
f.5. CÁLCULOS.....	111
g. ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO PARA LOS MATERIALES PÉTREOS DE LA CANTERA EMPLEANDO LA NORMA AASHTO T 89 .....	112
g.1. OBJETIVO .....	112
g.2. PRINCIPIO TEÓRICO.....	112
g.3. EQUIPO .....	112
g.4. PROCEDIMIENTO .....	112
g.5. CÁLCULOS.....	113
h. PARTÍCULAS PLANAS, PARTÍCULAS ALARGADAS, O PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO .....	113
h.1. OBJETIVO.....	113
h.2. PRINCIPIO TEÓRICO.....	114
h.3. EQUIPOS Y MATERIALES.....	114
h.3.1. EQUIPOS.....	114
h.3.2. MATERIALES .....	114
h.4. PROCEDIMIENTO.....	114
h.5. RESULTADO .....	115
3.8.5. ASFALTO .....	115
a. ÍNDICE DE PENETRACIÓN DE CEMENTOS ASFALTICOS .....	115
a.1. OBJETIVO .....	115
a.2. PRINCIPIO TEÓRICO.....	116
a.2.1. EQUIPO .....	116
a.2.2. PROCEDIMIENTO.....	116
3.8.6. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL .....	117
a. MÉTODO MARSHALL DEL DISEÑO DE MEZCLA .....	117
b. GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DEL AGREGADO (GSB) .....	117
c. GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA DEL AGREGADO (GSE).....	118
d. GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA (GMM) .....	118
e. ABSORCIÓN DE ASFALTO (PBA).....	119
f. CONTENIDO EFECTIVO DE ASFALTO (PBE).....	119
g. VACÍOS DE AGREGADO MINERAL(VAM) .....	120
h. VACÍOS DE AIRE (VA).....	120
i. VACÍOS LLENADOS CON ASFALTO (VFA) .....	120
j. DOSIFICACIÓN DEL ASFALTO.....	121
k. PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS DE ENSAYO.....	122
k.1. PASOS PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS .....	123
k.2. ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL BRIQUETA DE 1200 GR .....	125
3.8.7. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICAS MODIFICADA CON POLÍMERO SBS.....	125
a. PROCEDIMIENTO DE MODIFICACIÓN DEL ASFALTO .....	125
b. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJES ÓPTIMOS PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO EVA .....	126
c. DETERMINACION DE PORCENTAJES OPTIMOS PARA UNA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBR .....	126
d. DETERMINACION DE PORCENTAJES OPTIMOS PARA UNA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON CAUCHO.....	126

e. CRITERIOS ÉTICOS.....	127
CAPITULO IV RESULTADOS.....	127
4.1. ENSAYOS A LOS AGREGADOS.....	127
4.1.1. ANALISIS GRANULOMETRICO.....	127
a. INTERPRETACION .....	128
4.1.2. DESGASTE LOS ANGELES.....	128
a. CALCULOS Y RESULTADOS.....	128
a.1. INTERPRETRACION .....	129
4.1.3. EQUIVALENTE DE ARENA .....	129
a. CALCULOS Y RESULTADOS:.....	129
a.1. INTERPRETACION .....	129
4.1.4. PARTICULAS FRACTURADAS MECANICAMENTE .....	130
a. CALCULOS Y RESULTADOS:.....	130
a.1. INTERPRETACION .....	130
4.1.5. PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS .....	131
a. CALCULOS Y RESULTADOS:.....	131
a.1. INTERPRETACION .....	131
4.1.6. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO .....	131
a. CALCULOS Y RESULTADOS.....	131
a.1. INTERPRETACION .....	132
4.1.7. LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD .....	132
a. CALCULOS Y RESULTADOS:.....	132
a.1. INTERPRETACION .....	132
4.2. ENSAYO AL ASFALTO:.....	133
4.2.1. PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS:.....	133
a. CALCULOS Y RESULTADOS:.....	133
a.1. INTERPRETACION .....	133
4.3. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYO A LOS AGREGADOS Y AL ASFALTO .....	134
4.4. DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL .....	134
4.4.1. DOSIFICACION DE AGREGADOS:.....	134
4.4.2. DISEÑO DE MEZCLA:.....	135
4.4.3. ELABORACIÓN DE BRIQUETAS: .....	136
4.4.4. ASFALTO CONVENCIONAL.....	136
a. DENSIDAD BULK: .....	136
a.1. EJEMPLO .....	137
a.2. TABLAS DE CALCULO DE DENSIDAD BULK.....	138
b. GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA:.....	140
b.1. TABLAS DE GRAVEDAD ESPECIFICAS MAXIMA .....	140
c. CALCULO DE VACÍOS.....	141
c.1. EJEMPLO .....	141
d. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO):.....	142
d.1. EJEMPLO:.....	142
d.2. TABLAS DE DESGASTE DE LOS ANGELES A LA MEZCLA .....	143
e. RESULTADOS MARSHALL.....	144
e.1. INTERPRETACION .....	144

e.2. INTERPRETACION .....	146
4.4.5. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO EVA: .....	147
a. PROPORCIONES DE AGREGADOS PARA CADA PORCENTAJE DE POLIMERO.....	147
a.1. TABLAS DE PROPORCIONES DE AGREGADOS.....	147
b. DENSIDAD BULK: .....	149
b.1. EJEMPLO.....	149
b.2. TABLAS DE DENSIDAD BULK.....	150
c. GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA: .....	153
c.1. TABLAS DE GRAVEDADES ESPECIFICAS .....	153
d. CALCULO DE VACÍOS .....	154
d.1. EJEMPLO.....	154
e. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO):.....	155
e.1. EJEMPLO:.....	155
e.2. TABLAS DE DESGASTE DE LOS ANGELES A LA MEZCLA .....	156
f. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO EVA .....	157
f.1. INTERPRETACION .....	157
f.2. INTERPRETACION .....	159
4.4.6. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBS:.....	160
a. PROPORCIONES DE AGREGADOS PARA CADA PORCENTAJE DE POLIMERO.....	160
a.1. TABLAS DE PROPORCIONES DE AGREGADOS.....	160
b. DENSIDAD BULK: .....	162
b.1. EJEMPLO.....	162
b.2. TABLAS DE DENSIDAD BULK.....	163
c. GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA: .....	166
c.1. TABLAS DE GRAVEDADES ESPECIFICAS .....	166
d. CALCULO DE VACÍOS .....	167
d.1. EJEMPLO.....	167
e. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO):.....	168
e.1. EJEMPLO:.....	168
e.2. TABLAS DE DESGASTE LOS ANGELES EN LA MEZCLA .....	169
f. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO SBS.....	170
f.1. INTERPRETACION .....	170
f.2. INTERPRETACION .....	172
4.4.7. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBR:.....	173
a. PROPORCIONES DE AGREGADOS PARA CADA PORCENTAJE DE POLIMERO.....	173
a.1. TABLAS DE PROPORCIONES DE AGREGADOS.....	173
b. DENSIDAD BULK: .....	175
b.1. EJEMPLO.....	175
b.2. TABLAS DE DENSIDAD BULK.....	176
c. GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA: .....	179
c.1. TABLA DE GRAVEDADES ESPECIFICAS .....	179
d. CALCULO DE VACÍOS .....	180
d.1. EJEMPLO.....	180
e. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO):.....	181
e.1. EJEMPLO:.....	181
e.2. TABLAS DE DESGASTE LOS ANGELES EN LA MEZCLA .....	182
f. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO SBR .....	183

f.1. INTERPRETACION .....	183
f.2. INTERPRETACION .....	185
4.4.8. ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO: .....	186
a. PROPORCIONES DE AGREGADOS PARA CADA PORCENTAJE DE POLIMERO .....	186
a.1. TABLAS DE PROPORCIONES DE AGREGADOS .....	186
b. DENSIDAD BULK: .....	188
b.1. EJEMPLO .....	188
b.2. TABLAS DE DENSIDAD BULK .....	189
c. GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA: .....	192
c.1. TABLAS DE GRAVEDAD ESPECIFICA .....	192
d. CALCULO DE VACÍOS .....	193
d.1. EJEMPLO .....	193
e. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO): .....	194
e.1. EJEMPLO: .....	194
e.2. TABLAS DE DESGASTE LOS ANGELES EN LA MEZCLA .....	195
f. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON CAUCHO .....	196
f.1. INTERPRETACION .....	196
f.2. INTERPRETACION .....	198
4.5. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS .....	199
4.5.1. ASFALTO CONVENCIONAL .....	199
4.5.2. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBS .....	201
4.5.3. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO EVA .....	203
4.5.4. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBR .....	205
4.5.5. ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO .....	207
4.6. ANÁLISIS DE FIABILIDAD Y CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS. ....	209
4.6.1. ALFA DE CRONBACH .....	209
4.6.2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES (CORRELACIÓN DE PEARSON) .....	210
a. Correlaciones .....	210
4.7. PRUEBA DE HIPÓTESIS: HIPÒTESIS GENERAL .....	213
4.7.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS – HIPÓTESIS ALTERNATIVA “A” .....	215
4.7.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS – HIPÓTESIS ALTERNATIVA “B” .....	217
4.7.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS – HIPÓTESIS ALTERNATIVA “C” .....	218
CAPITULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	219
5.1. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL (CONVENCIONAL). ....	219
5.1.1. DISCUSION: .....	221
5.2. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO EVA .....	222
5.2.1. DISCUSION: .....	223
5.3. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO SBS .....	225
5.3.1. DISCUSION: .....	225
5.4. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO SBR .....	226
5.4.1. DISCUSION: .....	226
5.5. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON CAUCHO .....	227
5.5.1. DISCUSION: .....	228
5.6. RESULTADOS A.P.U. PARA CADA TIPO DE POLIMERO .....	229
5.6.1. DISCUSIÓN: .....	229

CONCLUSIONES .....	230
RECOMENDACIONES .....	235
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	236
ANEXOS .....	239

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA I-1 TRAMO DE AREA A ESTUDIO.....	5
FIGURA I-2 VOLUMEN DE AGUAS RESIDUALES .....	14
FIGURA I-3 SUMINISTROS ELECTRICOS COMUNES, A NIVEL DE DISTRITOS, AÑO 2013.....	14
FIGURA I-4 FLUJO VEHICULAR POR HORA .....	17
FIGURA I-5 CALCULO DE ESAL.....	18
FIGURA II-1 ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL COMPORTAMIENTO DE UNA CARRETERA.	23
FIGURA II-2 COSTOS COMPARATIVOS DE CONSERVACIÓN O RECUPERACIÓN DE CALZADAS EN DIFERENTES ESTADOS. ....	24
FIGURA II-3 PROCESO NOCIVO DE UNA VÍA SIN ADECUADA CONSERVACIÓN.....	24
FIGURA II-4 ESTRUCTURA BÁSICA DE LOS PAVIMENTOS ASIÁTICOS.....	26
FIGURA II-5 BACHEO SUPERFICIAL (PIEL DE COCODRILO) - ANTES.....	30
FIGURA II-6 BACHEO SUPERFICIAL (PIEL DE COCODRILO) - DURANTE. ....	30
FIGURA II-7 BACHEO SUPERFICIAL (PIEL DE COCODRILO) - DESPÚES.....	30
FIGURA II-8 BACHEO PROFUNDO (HUNDIMIENTO) - ANTES. ....	32
FIGURA II-9 BACHEO PROFUNDO (HUNDIMIENTO) - DURANTE.....	32
FIGURA II-10 BACHEO PROFUNDO (HUNDIMIENTO) - DESPÚES. ....	32
FIGURA II-11 RECARPETEO - ANTES. ....	34
FIGURA II-12 RECARPETEO - DURANTE.....	34
FIGURA II-13 RECARPETEO - DESPÚES. ....	34
FIGURA II-14 EQUIPO PARA PRUEBA DE PENETRACIÓN AL ASFALTO.....	42
FIGURA II-15 EQUIPO PARA PRUEBA DE PUNTO DE LLAMA Y GRAVEDAD TEÓRICA MÁXIMA. .	43
FIGURA II-16 ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN, COPA CLEVELAND. ....	43
FIGURA II-17 ENSAYO DE PENETRACIÓN. ....	50
FIGURA II-18 RELACIONES DE DEPENDENCIA. ....	57
FIGURA II-19 EQUIPO COMPACTADOR Y MUESTRA EN PROCESO DE COMPACTACIÓN. ....	62
FIGURA II-20 PROBETA MARSHALL Y PEDESTAL DE COMPACTACIÓN.....	62
FIGURA II-21 VACÍOS Y VMA, POR CIENTO. ....	65
FIGURA II-22 VFA POR CIENTO Y PESO UNITARIO. ....	66
FIGURA II-23 ESTABILIDAD Y FLUENCIA. ....	66
FIGURA II-24 COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE ACUERDO A SU EDAD. ....	69
FIGURA II-25 CICLO DE VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.....	69
FIGURA II-26 EVOLUCIÓN DEL DETERIORO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE. ....	69
FIGURA II-27 SINTESIS DEL EVA.....	79
FIGURA II-28 POLIMERO TIPO ELASTOMERO.....	87
FIGURA II-29 POLIMERO SBS SIN PROCESAR Y PROCESADO.....	87
FIGURA II-30 HULE DE LLANTA TRITURADO .....	88
FIGURA II-31 POLIMERO PLASTOMERO .....	89
FIGURA II-32 POLIETILENO .....	89
FIGURA II-33 POLIMERO TIPO PVC.....	90
FIGURA II-34 POLIMERO TIPO EVA.....	91
FIGURA III-1 PROCESO CUANTITATIVO.....	97

FIGURA III-2 DISEÑO DE LA INVESTIGACION .....	97
FIGURA IV-1 ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO .....	128
FIGURA IV-2 RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO.....	129
FIGURA IV-3 FINOS PLASTICOS EN AGREGADO GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA .....	129
FIGURA IV-4 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS .....	130
FIGURA IV-5 PARTICULAS PLANAS ALARGADAS O PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN EL AGREGADO.....	131
FIGURA IV-6 PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS GRUESOS.....	131
FIGURA IV-7 LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE PLASTICO .....	132
FIGURA IV-8 INDICE DE PENETRACION DE CEMENTOS ASFALTICOS.....	133
FIGURA IV-9 CURVA GRANULOMETRICA.....	135
FIGURA IV-10 % ASFALTO VS ESTABILIDAD.....	146
FIGURA IV-11 % ASFALTO OPTIMO .....	146
FIGURA IV-12 % ASFALTO VS FLUJO.....	146
FIGURA IV-13 %EVA VS ESTABILIDAD.....	158
FIGURA IV-14 % DE ASFALTO OPTIMO.....	159
FIGURA IV-15 %ASFALTO VS FLUJO.....	159
FIGURA IV-16 %SBS VS ESTABILIDAD .....	171
FIGURA IV-17 % ASFALTO OPTIMO .....	172
FIGURA IV-18 %ASFALTO VS FLUJO.....	172
FIGURA IV-19 %SBR VS ESTABILIDAD.....	184
FIGURA IV-20 % ASFALTO OPTIMO .....	185
FIGURA IV-21 %ASFALTO VS FLUJO.....	185
FIGURA IV-22 % CAUCHO VS ESTABILIDAD .....	197
FIGURA IV-23 % ASFALTO OPTIMO .....	198
FIGURA IV-24 % ASFALTO VS FLUJO.....	198
FIGURA IV-25 CURVA SIMETRICA DE GAUSS.....	215
FIGURA IV-26 CURVA SIMETRICA DE GAUSS.....	216
FIGURA IV-27CURVA SIMETRICA DE GAUSS .....	217
FIGURA IV-28 CURVA SIMETRICA DE GAUSS.....	219
Figura V-1 % DE ASFALTO VS ESTABILIDAD .....	220
Figura V-2 % ASFALTO OPTIMO .....	221
Figura V-3 % ASFALTO VS FLUJO.....	221
FIGURA 0-1 %EVA VS ESTABILIDAD .....	233
FIGURA 0-2 %SBS VS ESTABILIDAD.....	234
FIGURA 0-3 %SBR VS ESTABILIDAD.....	234
FIGURA 0-4 %CAUCHO VS ESTABILIDAD.....	234

## INDICE DE TABLAS

Tabla I-1 UBICACIÓN DE LOS DISTRITOS DE JUNIN .....	5
Tabla I-2 ESTACION SANTA ANA.....	6
Tabla I-3 CARACTERISTICAS DE MATERIA ORGANICA DE LA PROVINCIA DE HUANCAYO.....	7
Tabla I-4 CARACTERISTICA TEXTURAL DE LA PROVINCIA DE HUANCAYO.....	8
Tabla I-5 ESTACION PUENTE BREÑA.....	9
Tabla I-6 DEPARTAMENTO JUNIN: POBLACION TOTAL CENSADA, POR SEXO Y AREA DE RESIDENICA SEGÚN PROVINCIA Y DISTRITO 2007 .....	10
Tabla I-7 COBERTURA DE EQUIPAMIENTOS DE SALUD (I NIVEL DE ATENCION), A NIVEL DE SECTORES .....	11
Tabla I-8 PROVINCIA HUANCAYO NUMERO DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE EDUCACION BASICA REGULAR, SEGUN EL DISTRITO Y NIVEL EDUCATIVO - GESTION PUBLICA, 2011 .....	12
Tabla I-9 ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA VIVIENDA A NIVEL DE SECTORES.....	13
Tabla I-10 POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA A NIVEL DE SECTORES AÑO 2007.....	15
Tabla I-11 SUPERFICIE AGRICOLA EN EL AREA DE ESTUDIO .....	15
Tabla I-12 PROVINCIA DE HUANCAYO: PRODUCCION PECUARIA.....	16
Tabla I-13 ESTUDIO DE TRAFICO DE LA AV. CORONEL PARRA. ....	17
TABLA II-1 ESTADO VIAL SEGÚN LA RUGOSIDAD.....	25
TABLA II-2 NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN PARA MANTENIMIENTO VIAL. ....	29
TABLA II-3 BACHEO PROFUNDO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS. ....	31
TABLA II-4 COLOCACIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS DE REFUERZO, (RECARPETEO). ....	33
TABLA II-5 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA MATERIALES DE MEZCLA ASFÁLTICA. ....	39
TABLA II-6 ENSAYO DE LABORATORIO PARA ASFALTOS.....	40
TABLA II-7 VALORES ACEPTABLES PARA ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS.....	41
TABLA II-8 REQUISITOS PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADOS POR VISCOSIDAD A 60 °C (CLASIFICACIÓN BASADA EN ASFALTO ORIGINAL).....	47
TABLA II-9 REQUISITOS PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADOS POR VISCOSIDAD A 60 °C (AASHTO M 226). ....	48
TABLA II-10 REQUISITOS PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60 °C (AASHTO M 20). ....	49
TABLA II-11 VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (REQUISITOS DE VMA). ....	52
TABLA II-12 CAUSAS Y EFECTOS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA MANTENIMIENTOS. ....	54
TABLA II-13 CRITERIOS PARA EL DISEÑO MARSHALL.....	64
TABLA II-14 FASES DE LA VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO. ....	68
TABLA II-15 TIPOLOGÍA DE DAÑOS. ....	71
TABLA II-16 DAÑOS Y NIVEL DE DETERIORO DEL PAVIMENTO.....	73
TABLA II-17 PÉRDIDA DE AGREGADOS (CALAVERAS O SURCOS). ....	74
Tabla II-18 PROPIEDADES DE EVA PARA ADHESIVOS RECUBRIMIENTOS .....	81
Tabla II-19 PROPIEDADES TÍPICAS DE EVA PARA INYECCION O EXTRUSIÓN .....	81
Tabla II-20 PROPIEDADES TIPICAS DE GOMA EVA .....	82

Tabla II-21 PROPIEDADES DE SBS (VECTOR 8505) .....	83
Tabla II-22 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	95
Tabla III-1 RANGOS DE PENETRACION EN ASFALTOS.....	100
Tabla III-2 CARGA DE ACUERDO AL TIPO DE COMPOSICION .....	109
Tabla III-3 DATOS PARA DOSIFICACION DE ASFALTO.....	122
Tabla III-4 PORCENTAJE DE ASFALTO .....	122
Tabla III-5 PROPORCIONES PARA LAS MODIFICACIONES EN LOS ENSAYOS MARSHALL .....	123
Tabla IV-1 RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS AGREGADOS .....	134
Tabla IV-2 RESUMEN DE RESULTADOS AL ASFALTO .....	134
Tabla IV-3 PARA 4.5% DE ASFALTO.....	138
Tabla IV-4 PARA 5.0% DE ASFALTO .....	138
Tabla IV-5 PARA 5.5% DE ASFALTO.....	139
Tabla IV-6 PARA 6.0% DE ASFALTO.....	139
Tabla IV-7 PARA 4.5% DE ASFALTO.....	140
Tabla IV-8 PARA 5.0% DE ASFALTO.....	140
Tabla IV-9 PARA 5.5% DE ASFALTO .....	140
Tabla IV-10 PARA 6.0% DE ASFALTO.....	141
Tabla IV-11 CONTENIDO DE VACIOS PARA 4.5%, 5.0%, 5.5% Y 6.0% DE ASFALTO.....	141
Tabla IV-12 PARA 4.5% DE ASFALTO.....	143
Tabla IV-13 PARA 5.0% DE ASFALTO.....	143
Tabla IV-14 PARA 5.5% DE ASFALTO.....	143
Tabla IV-15 PARA 6.0% DE ASFALTO.....	143
Tabla IV-16 RESULTADOS ESTABILIDAD MARSHALL SIN MODIFICAR.....	144
Tabla IV-17 RESUMEN DE RESULTADOS ENSAYO MARSHALL .....	145
Tabla IV-18 4.5% DE ASFALTO CON 2% DE POLIMERO EVA .....	147
Tabla IV-19 4.5% DE ASFALTO CON 3% DE POLIMERO EVA .....	147
Tabla IV-20 4.5% DE ASFALTO CON 4% DE POLIMERO EVA .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla IV-21 4.5% DE ASFALTO CON 5% DE POLIMERO EVA .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla IV-22 4.5% DE ASFALTO CON 6% DE POLIMERO EVA .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla IV-23 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO EVA.....	150
Tabla IV-24 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% DE POLÍMERO EVA.....	151
Tabla IV-25 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% DE POLÍMERO EVA.....	151
Tabla IV-26 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% DE POLÍMERO EVA.....	152
Tabla IV-27 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% DE POLÍMERO EVA.....	152
Tabla IV-28 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO EVA.....	153
Tabla IV-29 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO EVA.....	153
Tabla IV-30 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO EVA.....	153
Tabla IV-31 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO EVA.....	153
Tabla IV-32 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO EVA.....	154
Tabla IV-33 CALCULO DE VACIOS PARA 2,3,4,5 Y 6% DE POLIMERO EVA EN 4.5% DE ASFALTO .....	154
Tabla IV-34 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO EVA.....	156
Tabla IV-35 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO EVA.....	156
Tabla IV-36 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO EVA.....	156

Tabla IV-37 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO EVA.....	156
Tabla IV-38 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO EVA.....	157
Tabla IV-39 RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 4.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO EVA.....	157
Tabla IV-40 RESUMEN DE RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 4.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO EVA .....	158
Tabla IV-41 5% DE ASFALTO CON 2% DE POLIMERO SBS.....	160
Tabla IV-42 5% DE ASFALTO CON 3% DE POLIMERO SBS.....	160
Tabla IV-43 5% DE ASFALTO CON 4% DE POLIMERO SBS.....	161
Tabla IV-44 5% DE ASFALTO CON 5% DE POLIMERO SBS.....	161
Tabla IV-45 5% DE ASFALTO CON 6% DE POLIMERO SBS.....	161
Tabla IV-46 PARA 5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBS.....	163
Tabla IV-47 PARA 5% DE ASFALTO CON 3% DE POLÍMERO SBS .....	164
Tabla IV-48 PARA 5% DE ASFALTO CON 4% DE POLÍMERO SBS .....	164
Tabla IV-49 PARA 5% DE ASFALTO CON 5% DE POLÍMERO SBS .....	165
Tabla IV-50 PARA 5% DE ASFALTO CON 6% DE POLÍMERO SBS .....	165
Tabla IV-51 PARA 5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBS.....	166
Tabla IV-52 PARA 5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO SBS.....	166
Tabla IV-53 PARA 5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO SBS.....	166
Tabla IV-54 PARA 5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO SBS.....	166
Tabla IV-55 PARA 5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO SBS.....	167
Tabla IV-56 CALCULO DE VACIOS PARA 2,3,4,5 Y 6% DE POLIMERO SBS EN 5% DE ASFALTO	168
Tabla IV-57 PARA 5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBS.....	169
Tabla IV-58 PARA 5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO SBS.....	169
Tabla IV-59 PARA 5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO SBS.....	169
Tabla IV-60 PARA 5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO SBS.....	169
Tabla IV-61 PARA 5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO SBS.....	170
Tabla IV-62 RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO SBS .....	170
Tabla IV-63 RESUMEN DE RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO SBS.....	171
Tabla IV-64 5.5% DE ASFALTO CON 2% DE POLIMERO SBR.....	173
Tabla IV-65 5.5% DE ASFALTO CON 3% DE POLIMERO SBR.....	173
Tabla IV-66 5.5% DE ASFALTO CON 4% DE POLIMERO SBR.....	174
Tabla IV-67 5.5% DE ASFALTO CON 5% DE POLIMERO SBR.....	174
Tabla IV-68 5.5% DE ASFALTO CON 6% DE POLIMERO SBR .....	174
Tabla IV-69 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBR .....	176
Tabla IV-70 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 3% DE POLÍMERO SBR .....	177
Tabla IV-71 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 4% DE POLÍMERO SBR .....	177
Tabla IV-72 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 5% DE POLÍMERO SBR .....	178
Tabla IV-73 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 6% DE POLÍMERO SBR.....	178
Tabla IV-74 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBR .....	179
Tabla IV-75 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO SBR .....	179
Tabla IV-76 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO SBR .....	179

Tabla IV-77 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO SBR .....	179
Tabla IV-78 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO SBR .....	180
Tabla IV-79 CÁLCULO DE VACÍOS PARA 2,3,4,5 Y 6% DE POLIMERO SBR EN 5.5% DE ASFALTO .....	180
Tabla IV-80 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBR .....	182
Tabla IV-81 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO SBR .....	182
Tabla IV-82 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO SBR .....	182
Tabla IV-83 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO SBR .....	182
Tabla IV-84 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO SBR .....	182
Tabla IV-85 RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 5.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO SBR .....	183
Tabla IV-86 RESUMEN DE RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 5.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO SBR .....	184
Tabla IV-87 4.5% DE ASFALTO CON 2% DE CAUCHO .....	186
Tabla IV-88 4.5% DE ASFALTO CON 3% DE CAUCHO .....	186
Tabla IV-89 4.5% DE ASFALTO CON 4% DE CAUCHO .....	187
Tabla IV-90 4.5% DE ASFALTO CON 5% DE CAUCHO .....	187
Tabla IV-91 4.5% DE ASFALTO CON 6% DE CAUCHO .....	187
Tabla IV-92 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% CAUCHO.....	189
Tabla IV-93 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% CAUCHO.....	190
Tabla IV-94 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% CAUCHO.....	190
Tabla IV-95 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% CAUCHO.....	191
Tabla IV-96 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% DE CAUCHO .....	191
Tabla IV-97 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% CAUCHO.....	192
Tabla IV-98 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% CAUCHO .....	192
Tabla IV-99 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% CAUCHO.....	192
Tabla IV-100 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% CAUCHO .....	192
Tabla IV-101 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% CAUCHO .....	193
Tabla IV-102 DE CÁLCULO DE VACÍOS PARA 2,3,4,5 Y 6% DE CAUCHO EN 4.5% DE ASFALTO .....	193
Tabla IV-103 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% CAUCHO .....	195
Tabla IV-104 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% CAUCHO .....	195
Tabla IV-105 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% CAUCHO .....	195
Tabla IV-106 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% CAUCHO .....	195
Tabla IV-107 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% CAUCHO .....	195
Tabla IV-108 RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 4.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6% DE CAUCHO .....	196
Tabla IV-109 RESUMEN DE RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 4.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6% DE CAUCHO.....	197
Tabla IV-110 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA POR M2 .....	199
Tabla IV-111 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE POR M2 .....	200
Tabla IV-112 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2" POR M3 .....	200
Tabla IV-113 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2" POR M3.....	201
Tabla IV-114 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA POR M2 .....	201

Tabla IV-115 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE POR M2 .....	202
Tabla IV-116 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2" POR M3 .....	202
Tabla IV-117 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2" POR M3.....	203
Tabla IV-118 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA POR M2 .....	203
Tabla IV-119 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE POR M2 .....	204
Tabla IV-120 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2" POR M3 .....	204
Tabla IV-121 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2" POR M3.....	205
Tabla IV-122 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA POR M2 .....	205
Tabla IV-123 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE POR M2 .....	206
Tabla IV-124 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2" POR M3 .....	206
Tabla IV-125 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2" POR M3.....	207
Tabla IV-126 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA POR M2 .....	207
Tabla IV-127 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE POR M2 .....	208
Tabla IV-128 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2" POR M3 .....	208
Tabla IV-129 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2" POR M3.....	209
TABLA IV-130 RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE LOS CASOS .....	209
TABLA IV-131 ESTADISTICOS DE FIABILIDAD.....	209
TABLA IV-132 ESTADISTICOS DE LOS ELEMENTOS.....	210
TABLA IV-133 MATRIZ DE CORRELACIONES INTER-ELEMENTOS .....	211
Tabla V-1 RESULTADOS DE ENSAYO MARSHALL ASFALTO CONVENCIONAL .....	219
Tabla V-2 RESUMEN DE RESULTADOS PARA POLIMERO EVA CON 4.5%, 5% Y 5.5% DE ASFALTO .....	222
Tabla V-3 RESUMEN DE RESULTADOS PARA POLIMERO SBS CON 4,5%,5% Y 5.5% DE ASFALTO .....	225
Tabla V-4 RESUMEN DE RESULTADOS PARA POLIMERO SBR CON 4,5%,5% Y 5.5% DE ASFALTO .....	226
Tabla V-5 RESUMEN DE RESULTADOS PARA CAUCHO CON 4,5%,5% Y 5.5% DE ASFALTO ....	227
Tabla V-6 RESUMEN DE COSTOS POR M2 Y M3 PARA SBS EVA SBR Y CAUCHO, Y CONVENCIONAL .....	229
Tabla 0-1 RESUMEN DE DATOS ELEGIDOS PARA POLIMERO EVA.....	231
Tabla 0-2 RESUMEN DE DATOS ELEGIDOS PARA POLIMERO SBS .....	232
Tabla 0-3 RESUMEN DE DATOS ELEGIDOS PARA POLIMERO SBR.....	232
Tabla 0-4 RESUMEN DE DATOS ELEGIDOS PARA CAUCHO .....	232

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación debe responder al siguiente problema: **¿De qué manera influye la modificación de asfaltos convencionales con polímeros mediante la metodología Marshall en el pavimento de la carretera Pilcomayo-Chupaca 2016?**, el objetivo general es: **Determinar la influencia de los polímeros (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) en los asfaltos convencionales modificados mediante la metodología MARSHALL en el pavimento de la carretera Pilcomayo-Chupaca**, y la hipótesis que debe verificarse es: **La influencia de los polímeros (EVA, SBR,SBS Y CAUCHO ) como modificación de asfaltos convencionales tiene mejores características que le dé un asfalto convencional mediante la metodología MARSHALL.**

Respecto a la metodología de investigación empleada es del tipo DEDUCTIVO -ANALITICO, el tipo de investigación es APLICADO – CUANTITATIVO, con un diseño de investigación CUASI EXPERIMENTAL, teniendo un nivel de investigación DESCRIPTIVO EXPLICATIVO y así mismo el método de recolección de datos empleado es la OBSERVACIÓN teniendo como instrumento GUÍA DE OBSERVACIONES.

Así que la principal conclusión es la aplicación de modificadores en los asfaltos convencionales mejoran notablemente las propiedades mecánicas alargando su tiempo de vida, también el costo beneficio del polímero EVA es un 88% más que el de un asfalto convencional, siendo la mejor elección para nuestra unidad de análisis.

### **Palabras claves:**

Asfaltos convencionales. Metodología Marshall. Polímeros.

## **ABSTRACT**

The present research work should answer the following problem: How does the modification of conventional asphalts with polymers influence the Marshall methodology in the paving of the Pilcomayo-Chupaca 2016 highway? The general objective is: Determine the influence of polymers (EVA, SBR, SBS and RUB) in the conventional asphalts modified by the MARSHALL methodology in the paving of the Pilcomayo-Chupaca highway, and the hypothesis that should be verified is: The influence of the polymers (EVA, SBR, SBS and RUBBER) As a modification of conventional asphalts, it has better characteristics than conventional asphalt, using the MARSHALL methodology.

Regarding the research methodology used, it is of the DEDUCTIVE-ANALYTIC type, the type of research is APPLIED - QUANTITATIVE, with a CUASI EXPERIMENTAL research design, having a level of EXPLANATORY DESCRIPTIVE research and likewise the method of data collection used is the OBSERVATION having as an instrument OBSERVATIONS GUIDE.

So the main conclusion is that the application of modifiers in conventional asphalts significantly improve the mechanical properties lengthening their life time, also the cost benefit of EVA polymer is 88% more than that of a conventional asphalt, being the best choice for our analysis unit..

### **Keywords:**

Conventional asphalts. Marshall Methodology. Polymers.

## INTRODUCCION

El asfalto no convencional es un procedimiento usada por múltiples países estos tienen como propósito principal el de poder fructificar los asfaltos en las pavimentaciones viales. Con el propósito de poder mejorar sus propiedades mecánicas se suma polímeros en los asfaltos convencionales, así como se da a conocer en el Capítulo 4; en otras palabras, las causas climatológicas y de tránsito mermarían en gran parte y aumentaría su resistencia a la deformación; también, así exista agua esta no afectaría en gran medida ya que con los polímeros mejoran las propiedades de adherencia en medio del material asfáltico y el material pétreo. En el Capítulo 2.1.2 se menciona que se hizo una prueba con polímero de caucho reciclado a un 20% justificándose en el ASTM D-6114-97(norma), que nos permitió probar su resistencia a las deformaciones es más alta, de la misma forma por parte de las causas climatológica y de tránsito que generan esfuerzos de tensión repetida se observa una mejora, se adquirió caucho de llanta triturado de la empresa SCINOR PERU S.A.C. También se evaluó el costo beneficio teniendo un 26.2% con respecto al asfalto sin modificar, pero se ve proporcionado con el bajo costo de mantenimiento y una mejor durabilidad. En la presente investigación, se demuestra la influencia de los polímeros en asfaltos convencionales mediante ensayos, por la metodología Marshall, la primera influencia notoria es que estabilidad es mayor al emplear polímeros que la de un asfalto convencional también por parte de la influencia se cumple el rango que indica la normativa MTC E504 Y AASHTO T-245, EVA, SBS, SBR, CAUCHO se determinó en porcentajes de 2%,3%,4%,5%,6%. La dosificación de polímero que se deberá sumar al asfalto para el tránsito encontrado en nuestra unidad de análisis (Tránsito Mediano, ver anexo 3).

La presente tesis consta de los siguientes capítulos:

En el Capítulo I, se explica el planteamiento del problema, segregando la situación actual del proyecto llegamos a la formulación del

problema general, así como sus problemas específicos, obteniendo así nuestras variables para poder determinar y validar la aplicación.

El Capítulo II, trata sobre marco teórico la recopilación de bibliografía conceptos básicos y fuentes sobre el tema planteado, historia, tipos, clasificación, aplicaciones.

El Capítulo III, trata sobre la metodología de la investigación, enfoque de la investigación, método de la investigación, diseño de la investigación, población muestra, técnica de recolección de datos, procesamiento de datos, operacionalización de las variables dependientes y las independientes así como la descripción de los pasos a seguir.

El Capítulo IV, trata sobre la presentación de resultados, información respecto a la metodología Marshall (análisis de agregados pétreos, asfalto, resultados del ensayo Marshall).

El Capítulo V, trata sobre discusión de resultados, sobre las características mecánicas de la mezcla asfáltica no convencional modificada con polímeros (EVA, SBS, SBR Y CAUCHO) haciendo una comparación con la norma y con una mezcla asfáltica sin modificar así mismo se presenta análisis de precios unitarios para dicho tramo en m<sup>2</sup> y m<sup>3</sup>.

Finalmente se tiene las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos

GENDERSON BILLY ESTRELLA DAVILA

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En la actualidad el presupuesto que se asigna para el mantenimiento de las carreteras pavimentadas no satisface la demanda que estas tienen además los pavimentos deben su periodo de vida útil a diversos factores como el diseño, volumen de tránsito, temperatura y cargas. Desde hace tiempo los usuarios de la vía y los colindantes a la carretera principal Pilcomayo-Chupaca (Av. Coronel parra cdra. 06 – cdra. 14) viven y enfrentan la incomodidad ante la prematura vida útil de la obra, los baches, surcos o ahuellamientos son un problema para los conductores, ya que al pasar por ella los vehículos sufren indirectamente deterioro, no cumpliendo la serviciabilidad requerida del pavimento.

La aparición de ahuellamientos, grietas de contracción de bloque, baches y otros son el principio de la disgregación de las carpetas asfálticas así mismo en la base, generada por la pésima calidad, la alta transitabilidad, la temperatura entre otros que genera un malestar general a los usuarios, vecinos, transeúntes, peatones, pasajeros, conductores y la población en general.

Los vehículos con carga pesada que transitan en esta zona de producción, también son afectados debido a que su transporte por esta vía es en forma lenta. Los pobladores que viven paralelo a la vía de transporte, sufren la incomodidad (congestión vehicular) y adicionalmente el impacto ambiental que ocasiona como es el levantamiento del polvo, dañando la salud de los pobladores.

Los huecos o baches también afectan el recorrido de viaje para llegar a destino, ya que el tiempo que se recorre por esta vía es mayor a lo que se estima siendo los principales afectados los pasajeros.

Los asfaltos modificados con polímeros en pavimentos son una alternativa para alargar la vida útil a cambio de un costo mayor en el mercado, pero avalando una mayor vida útil en el pavimento teniendo como resultado un bajo costo de mantenimiento en el tiempo.

Según la experiencia y los estudios realizados en el campo de la construcción de carreteras y asfaltos, Se puede concluir que el proceso de modificación de asfaltos con polímeros en pavimentos es un método viable para la rehabilitación del pavimento asfáltico tanto en la carretera Pilcomayo-Chupaca (Av. Coronel parra cdra. 06 – cdra. 14), así como en otras vías construidas con pavimento asfáltico.

## **1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL.**

¿De qué manera influye la modificación de asfaltos convencionales con polímeros (EVA SBR SBS Y CAUCHO) mediante la metodología Marshall en el pavimento de la carretera Pilcomayo-Chupaca?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- a) ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de los asfaltos convencionales modificados con polímeros (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) aplicando la metodología MARSHALL?
- b) ¿Cuál es el costo - beneficio para la colocación de polímeros (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) como modificación de asfaltos convencionales?
- c) ¿Cuál es el mejor polímero (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) a utilizar como modificación de asfaltos convencionales?

## **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la influencia de los polímeros (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) en los asfaltos convencionales modificados mediante la metodología MARSHALL en el pavimento de la carretera Pilcomayo-Chupaca.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- a) Determinar las propiedades mecánicas de los asfaltos convencionales modificados con polímeros (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) mediante la metodología MARSHALL.
- b) Determinar el costo – beneficio de la colocación de polímeros (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) como modificación de asfaltos convencionales.
- c) Proponer el mejor polímero (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) a utilizar en la modificación de asfaltos convencionales.

## **1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION**

### **1.4.1. JUSTIFICACION METODOLOGICA**

Este trabajo de investigación tendrá carácter práctico, porque se van a describirán las variables de estudio y en según eso se podrá tomar decisiones de evaluación, también constituirá un aporte para el diseño, construcción y ratificación de los instrumentos de acumulación de datos, así mismo se plantea alcanzar soluciones adecuadas ante la vida prematura del asfalto convencional con el análisis de la influencia de

colocación de polímeros (EVA, SBS, SBR Y CAUCHO). como modificación de asfaltos convencionales.

La información y los resultados compilados y procesados de sustento servirá para la presente investigación como también para otras investigaciones semejantes, mejorara el marco teórico y/o cuerpo de conocimientos que existen sobre el tema. Los asfaltos no convencionales que están modificados con polímeros (EVA SBS SBR Y CAUCHO) en pavimentos muestran características físico-mecánicas más altas en comparación que un asfalto convencional.

Evidentemente el empleo de los instrumentos de investigación nos servirá para resumir los datos, con lo que se puede ser extensivo a las demás regiones del país que se vean afectados con este problema estructural – vial y de seguridad. Esta investigación tendrá una gran importancia académica en la ingeniería civil, ya que los resultados obtenidos aportaran de varias formas a servir de antecedentes para otros investigadores en el campo de la construcción de pavimentos que traten con las variables de: Modificación de asfaltos convencionales y polímeros así mismo las ventajas y desventajas que proporcionarán ante un asfalto convencional, se han diseñado polímeros, el cual sirvió para recopilar información, para usarlo en cualquier momento como método científico para la investigación deseada.

#### **1.4.2. JUSTIFICACION SOCIAL O PRACTICA**

A nivel social los asfaltos no convencionales modificados con polímeros (EVA SBS SBR Y CAUCHO) en el pavimento de la carretera Pilcomayo Chupaca optimizarán el transporte vehicular, previniendo accidentes y desperfectos en los vehículos, así mismo se reduciría considerablemente las partículas en suspensión en el aire (polvo), mejorando la calidad de vida de los pobladores adyacentes a esta vía.

#### **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION**

En la presente investigación hubo como limitación más importante la poca experiencia de los laboratorios en realización de ensayos Marshall modificado con polímeros: (EVA, SBS, SBR Y CAUCHO).

Otra limitación será probablemente el desconocimiento de la forma o proceso de aplicación de polímeros (EVA, SBS, SBR Y CAUCHO).

## **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACION**

Es tomar en cuenta la disponibilidad de recursos financieros, humanos y materiales que ayudaron a hallar en última estancia los alcances de la investigación (Rojas, 2001).

Esta investigación se llevará acabo el laboratorio de GEOLUMAS SAC estando financiado por el autor de la tesis, teniendo así los materiales a disposición para realizar las pruebas respectivas siendo una tesis VIABLE.

## **1.7. DELIMITACION DE LA INVETIGACION**

### **1.7.1. ESPACIAL**

La investigación comprendió la modificación de asfaltos convencionales mediante polímeros (EVA SBS SBR Y CAUCHO) en la carretera Pilcomayo Chupaca en el año 2016

### **1.7.2. TEMPORAL**

Se recopilaron datos para la investigación primordialmente en el lapso comprendido del 04 de agosto al 04 de noviembre del 2016 aunque se tomaron en consideración algunos antecedentes referenciados del año 2010.

## **1.8. INFORMACION DE LA UNIDAD DE ANALISIS**

### **1.8.1. UBICACIÓN**

El presente trabajo será desarrollado en la carretera principal Pilcomayo – Chupaca, en el tramo Av. Coronel Parra cuadra 6 hasta la cuadra 14 (Ver FIGURA I.1 y Plano I.1), esta se ubica en el distrito de Pilcomayo, provincia de Chupaca, región Junín.

El territorio donde se ubica la unidad de análisis tiene una altitud de 3247 m.s.n.m. (Ver Tabla I.1).

Tabla I-1 UBICACIÓN DE LOS DISTRITOS DE JUNIN

Distritos	Coordenadas		Rango altitudinal		Superficie (km <sup>2</sup> )	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )
	Latitud	Longitud	Msnm	Región natural		
Pariahuanca	12°01'15"	74°50'30"	3070	Sierra	617.5	11.4
Pilcomayo	12°02'45"	75°14'54"	3247	Sierra	20.5	648.54
Pucara	12°10'03"	75°08'36"	3362	Sierra	110.49	51.18

Fuente: Estudio de Mercado del Servicio de Transportes Público de Pasajeros en la Región de Junín con Vehículos de las Categorías M1, M2, M3

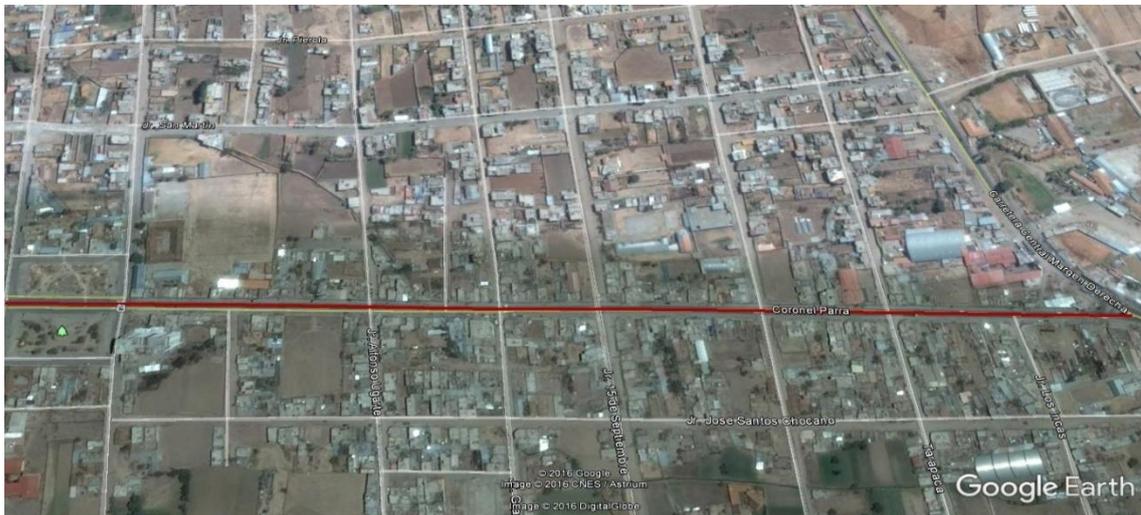


FIGURA I-1 TRAMO DE AREA A ESTUDIO

FUENTE: PROPIA GOOGLE EARTH



### 1.8.2. **LIMITES** <sup>1</sup>

Pilcomayo tiene como limites políticamente administrativos:

En cuando a la ubicación Pilcomayo limitada por el Norte: con el Distrito de Sicaya, así también se encuentra limitado desde el Este hasta el Oeste y con la quebrada vieja llamada también Asha, conocido en Sicaya como la cofradía “Ahuac Harpac” que significa Arpa del diablo, “Llachap Ceboylas” (cebolla de sapo), también, también los terrenos de Monserraste y Vilcapampa, y “Auquis Shequia” ubicados entre los distritos de Chupaca y Sicaya.

Por otro lado, por el lado Sur: está limitando con el Río Cunas, al mismo tiempo este rio divide a los distritos de Chupaca y Huamancaca Chico.

Mientras que por el lado Sur: está el Río Mantaro, que al mismo tiempo divide con el Distrito de El Tambo.

Finalmente, por lado Oeste: Está limitando con los terrenos comunes de los distritos la Provincia de Chupaca y Sicaya.

### 1.8.3. **CLIMA** <sup>2</sup>

Posee un clima templado, seco con algunos días de fuerte calor cubierto con cielo azul, y por las noches con un frío intenso en el lapso de abril a septiembre ,con la presencia de vientos en agosto, entre octubre a marzo se presentan las lluvias, y estos meses se aprovechan para la agricultura con los sembríos de maíz, de papas, de arvejas habas, y linaza, así como una diversidad de hortalizas y otros productos.

### 1.8.4. **TEMPERATURA**

Pilcomayo posee un clima templado debido a que la temperatura entre el día y la noche varía mucho y esto es por la escasa humedad atmosférica en otras palabras existe un poco cantidad de moléculas de vapor de agua. El cual a veces alcanza una temperatura mayor a 17.9 °C. y mientras que la mínima esta entre 2,0°C y/o menos (se observa en la TABLA I.2) esto sucede en las estaciones de verano e invierno.

Tabla I-2 *ESTACION SANTA ANA*

---

<sup>1</sup> <http://pilcomayo1-ayulo.blogspot.pe/>

<sup>2</sup> <http://pilcomayo1-ayulo.blogspot.pe/>

Estación : SANTA ANA , Tipo Convencional - Meteorológica												
Departamento : JUNIN			Provincia : HUANCAYO			Distrito : EL TAMBO			Ir : 2014-12			
Latitud : 12° 0' 15"			Longitud : 75° 13' 15"			Altitud : 3295						
Día/mes/año	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Temperatura Bulbo Seco (°C)			Temperatura Bulbo Humedo (°C)			Precipitación (mm)	Dirección del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)	
			07	13	19	07	13	19				
01-Dic-2014	21.8	5.8	12.6	20.6	14	9.8	12.8	9.2	0	0	C	
02-Dic-2014	22.1	6.8	10.4	19.8	13	9.6	12.6	10.6	0	0	SE	
03-Dic-2014	19.7	5.6	11.4	18	9.4	10.6	11.2	7.8	0	6.2	N	
04-Dic-2014	17.6	7	8.4	14.6	11.6	7.6	12.2	10.4	8.2	2.7	NW	
05-Dic-2014	20.2	7.4	11	15.5	14.6	9.8	12	11.6	0	0	C	
06-Dic-2014	23.6	5.8	11	21	15.2	10	12.4	9.6	0	0	C	
07-Dic-2014	22.8	6.2	9.8	20.6	14.8	8.6	11.8	10.2	0	2	NE	
08-Dic-2014	22.8	6.4	9	17	10.6	7.8	11	8.4	2.8	1.7	C	
09-Dic-2014	22	5.8	6.6	19.6	10.8	6.2	13.2	9.8	1	13.3	C	
10-Dic-2014	21.2	7.8	11	20.4	10.8	9.8	12.2	8.8	1	0	W	
11-Dic-2014	17.6	3.6	4.4	14.4	8.8	3.6	10.2	7.2	0	3.8	C	
12-Dic-2014	21.4	2.8	4.6	18.4	15.2	3.8	11.4	10.2	3	0	C	
13-Dic-2014	23.6	3.2	6.8	20	16	5.8	12	10.4	0	0	C	
14-Dic-2014	18.4	3.8	6	17.2	13.4	5.2	10	9.2	2.2	0	C	
15-Dic-2014	21	6.6	8.2	17.8	13.6	7	11.6	9.8	1.4	0	C	
16-Dic-2014	18.7	8	9	16.2	12.6	8.2	12	10	5.2	1.1	C	
17-Dic-2014	20.4	9.2	10.2	17.2	9.2	9.8	10.6	7.8	0	4.2	C	
18-Dic-2014	22.4	6.2	9.4	19.4	12.4	8.4	12.2	9.6	2.4	0	C	
19-Dic-2014	23.6	4.8	7.2	19.6	13.6	6.2	8.8	10.4	0	0	E	
20-Dic-2014	23.8	4.6	10.6	20.8	16	9.6	9.6	9.4	0	0	N	
21-Dic-2014	22	5	8.8	20.8	16	7.6	12.2	10.8	0	0	E	
22-Dic-2014	19.8	5.8	10.8	17.6	14.6	9.8	11.4	10.6	0	0	N	
23-Dic-2014	17.2	7.6	10	16.2	13.6	9	12	10	0	3.6	C	
24-Dic-2014	21.8	8.6	10.4	18.6	15.2	9.6	12.4	7.6	0	0	E	
25-Dic-2014	17.7	6.8	8.2	16.8	11.2	7.4	10.2	9.8	0	1.2	C	
26-Dic-2014	17	9	10.2	14.8	12.6	9.4	10.6	9.8	0	1.6	C	
27-Dic-2014	21.2	6.4	8.8	21.2	11.6	7.8	13.8	9.6	0	0	C	
28-Dic-2014	19.6	7.8	11.4	17.8	9.4	10.6	12	8.4	0	10.6	C	
29-Dic-2014	17.1	7	9.6	16.8	12.2	8.8	12	9.8	3.5	3	C	
30-Dic-2014	18.9	8.6	10.6	17.8	10.4	9.8	12	9.6	4.4	3.2	C	
31-Dic-2014	19.6	7.8	9	18.8	9.2	8.2	12.6	8.4	3.4	7.6	C	

Fuente: SENAMHI – Oficina de estadística <sup>3</sup>

### 1.8.5. TOPOGRAFIA <sup>4</sup>

La topografía del distrito de Pilcomayo es deposicional, ya que se evidencia los procesos glacioaluviales y fluviales, así que se pudo deducir que se dieron en el plioceno y pleistoceno, también se pudo ver acción deposicional de material acarreado de estos procesos y estos siendo depositados en el fondo de la depresión también hay una acción denudacional del curso del río, dando como producto las geoformas, terrazas sobresaliendo el cauce de los ríos Mantaro y cunas.

Tiene como configuración tres terrazas: la primera se presenta al lado este y está limitada por el río Mantaro, la segunda está ubicada al interior y es la más grande ya que se conforman por tierras agrícolas, la tercera se encuentra al lado nor-este compuesta en su totalidad por tierras de secano.

### 1.8.6. SUELOS

Se realizaron los análisis fisicoquímicos de 5 muestras de los suelos agrícolas del distrito de Pilcomayo obteniéndose los siguientes resultados: Materia orgánica 2.51%(TABLA I.3); y Textura de suelo que presenta es arcilloso, franco arcilloso arenoso y franco arenoso (TABLA I.4).

Materia orgánica en el suelo	Símbolo	Distritos que se encuentran dentro del valle del río Mantaro						
		Hyo	Huayucachi	Pilcomayo	Pucará	San Agustín	S.J Tunan	Saño
		Nº de muestras analizadas						
		103	18	5	41	6	7	6
Calificación	Rango	Porcentaje de las muestras tomadas y analizadas						
Pobre	0,5 - 1,0	3,38	11,11	40	2,44	16,67	14,29	-
Normal	1,5 - 3,0	17,5	5,56	-	14,63	-	-	83,33
Rico	3,5 - 5,0	7,77	33,33	-	24,39	16,67	57,14	16,67
Muy rico	> 5,0	19,42	5,56	20	29,27	50	-	-

<sup>3</sup> [http://www.senamhi.gob.pe/incluye\\_mapas/](http://www.senamhi.gob.pe/incluye_mapas/)

<sup>4</sup> Análisis de Situación de Salud (ASIS) Pilcomayo Autor: Alumnos de la Facultad de Enfermería de la Universidad Nacional del Centro del Perú Pág. 20

Fuente: Primera Aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del Mantaro AUTOR: Oscar Garay Canales y Alex Ochoa Acevedo del Instituto Geofísico del Perú.

Tabla I-4 CARACTERISTICA TEXTURAL DE LA PROVINCIA DE HUANCAYO

Textura de suelo	Color de textura	Distritos que se encuentran dentro del valle del río Mantaro						
		Huancayo	Huayucachi	Pilcomayo	Pucará	San Agustín	S. Jer. T.	Saño
		Nº de muestras analizadas						
		103	18	5	41	6	7	6
Porcentaje de las muestras tomadas (%)								
Arcilloso	A	14,56	-	40	12,2	-	-	-
Arcilloso arenoso	Aa	-	5,56	-	-	-	-	-
Franco Arcilloso limoso	FAL	-	-	-	2,44	-	-	-
Franco arcilloso	FA	20,39	-	-	14,63	66,67	42,86	50
Franco arcilloso arenoso	FAa	39,81	50	20	24,39	-	-	50
Franco limoso	FL	0,97	-	-	-	-	-	-
Franco	F	3,89	-	-	4,88	16,67	-	-
Franco arenoso	Fa	15,53	38,89	40	41,46	-	57,14	-
Arenoso franco	aF	4,85	-	-	-	16,67	-	-
Arenoso	a	-	5,56	-	-	-	-	-

Fuente: Primera Aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del Mantaro AUTOR: Oscar Garay Canales y Alex Ochoa Acevedo del Instituto Geofísico del Perú.

También se realizó 2 calicatas en la (Av. Coronel Parra cdra. 6 – cdra. 14) en las progresivas 0+060.4 y 0+797.2, se realizó el estudio de suelos los resultados indican que el terreno está compuesto por grava limosa, mezclas de grava, área y limo, de color marrón claro, con presencia de boloneras de 4” a 10” de diámetro cuya clasificación en SUCS es GM, en una profundidad de 1.50m Ver Anexo 2.

### 1.8.7. HIDROLOGIA<sup>5</sup>

Los hombres normalmente se posicionan en lugares donde hay aguas, teniendo como resultado que las localidades se construyen cerca a los manantiales y otros que cuenten con agua permanente.

El territorio está bañado por el Río Mantaro que lo recorre de norte a sur, cuyas aguas se hallan contaminadas por los elementos tóxicos de la Fundición de La Oroya, y esto ocasiona daños para la agricultura y los animales. Por el sur con el río Cunas, que sus aguas recorren de oeste a este y son utilizadas para el riego en las tierras de cultivo. Este río desemboca en el Río Mantaro.

Además, se nota la presencia de un gran número de manantiales, sobre todo, al lado este del distrito (en los distintos parajes), que forman hermosos paisajes naturales, así como los de Patarcocha (sus aguas se utilizan para el consumo de agua potable), Buenos Aires y el paraje Puquio Pata en la Calle Necochea, por las brisas y el pato.

Así, se puede decir que existe una gran cantidad de puquiales, y por otro lado, a las orillas del Río Cunas también se encuentran una infinidad de aves.

En esta zona se encuentran minerales no metálicos como la arcilla y la arena hormigón de los ríos Mantaro, Cunas y de las partes altas.

### 1.8.8. PRECIPITACIONES

Tiene una precipitación promedio anual de 649.79 mm. (TABLA I.5)

Tabla I-5 ESTACION PUENTE BREÑA

Estación : PUENTE BREÑA Tipo Convencional Meteorológica			
Departamento : JUNIN	Provincia : HUANCAYO	Distrito : EL TAMBO	Ir : 2014-12 ▾
Latitud : 12° 2' 53"	Longitud : 75° 14' 31"	Altitud : 3220	
Día/mes/año	07	Precipitacion (mm)	
		19	
01-Dic-2014	0	0	0
02-Dic-2014	0	0	0
03-Dic-2014	0	1.4	0
04-Dic-2014	6.4	0	0
05-Dic-2014	0	0	0
06-Dic-2014	0	0	0
07-Dic-2014	0	3.2	0
08-Dic-2014	6.2	6.6	0
09-Dic-2014	0	1	0
10-Dic-2014	.6	7	0
11-Dic-2014	0	1	0
12-Dic-2014	0	0	0
13-Dic-2014	0	2.4	0
14-Dic-2014	0	1.8	0
15-Dic-2014	0	0	0
16-Dic-2014	6.3	0	0
17-Dic-2014	0	5.4	0
18-Dic-2014	0	1	0
19-Dic-2014	0	0	0
20-Dic-2014	0	0	0
21-Dic-2014	0	0	0
22-Dic-2014	1.2	0	0
23-Dic-2014	2.2	1.2	0
24-Dic-2014	1	0	0
25-Dic-2014	0	0	0
26-Dic-2014	0	1.4	0
27-Dic-2014	0	9.6	0
28-Dic-2014	0	1.4	0
29-Dic-2014	3.8	0	0
30-Dic-2014	1.6	1.8	0
31-Dic-2014	8	3.2	0

<sup>5</sup> <http://pilcomayo1-ayulo.blogspot.pe/>

Fuente: SENAMHI – Oficina de estadística <sup>6</sup>

### 1.8.9. SITUACION URBANA

Con una población de 13 295 habitantes mayoritariamente Mujeres (55%), de acuerdo al Censo Nacional IX de Población y IV de Vivienda. Con un 100% de habitantes en la zona urbana. (TABLA I.6)

Tabla I-6 DEPARTAMENTO JUNIN: POBLACION TOTAL CENSADA, POR SEXO Y AREA DE RESIDENICA SEGÚN PROVINCIA Y DISTRITO 2007

Provincia y Distrito	Total	Sexo		Total	Area	
		Hombre	Mujer		Urbana	Rural
Pariahuanca	7057	3560	3497	7057	267	6790
Pilcomayo	13295	6431	6864	13295	13295	0
Pucara	5655	2678	2977	5655	1908	3747

Fuente: INEI Junín Compendio Estadístico 2011

<sup>6</sup> [http://www.senamhi.gob.pe/include\\_mapas/\\_dat\\_esta\\_tipo.php?estaciones=112263](http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estaciones=112263)

## 1.8.10. SERVICIO PUBLICOS

### a. SALUD <sup>7</sup>

Entre las primeras causas de la mortalidad general en Junín registrado el año 2014, las enfermedades respiratorias ocupan el primer lugar con 27,1% de casos presentados, tiene mayor incidencia en el grupo de edad de 0 a 10 años, el segundo lugar ocupa las enfermedades infecciosas parasitarias(16,3%).(INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática- Junín, 2014) En el distrito de Pilcomayo las enfermedades del sistema respiratorio también ocupan el primer lugar con el 25,9%, seguida de las enfermedades del sistema digestivo (22,4%) y las enfermedades de la cavidad bucal (21,3%). El estado nutricional de los niños es un factor importante, para la incidencia de las enfermedades del sistema respiratorio tanto a nivel Regional como a nivel Local. Pilcomayo tiene el 24,1% de desnutrición crónica en niños menores de 5 años.

Tabla I-7 COBERTURA DE EQUIPAMIENTOS DE SALUD (NIVEL DE ATENCIÓN), A NIVEL DE SECTORES

Sector	Población	Nivel	N° de Establecimientos	Cobertura Máxima x Establecimiento	Sub-Total	Cobertura
				ABS.	ABS.	ABS.
Huancayo	115,688	I1	2	3,000 hab.	6,000	16,312
		I2	2	3,000 hab.	6,000	
		I3	1	60,000 hab.	60,000	
		I4	1	60,000 hab.	60,000	
El Tambo	160,910	I1	23	3,000 hab.	69,000	28,090
		I3	1	60,000 hab.	60,000	
		I4	1	60,000 hab.	60,000	
Chilca	85,541	I1	2	3,000 hab.	6,000	40,459
		I3	1	60,000 hab.	60,000	
		I4	1	60,000 hab.	60,000	
Huancan	20,667	I1	2	3,000 hab.	6,000	-14,667
Pilcomayo	16,443	I3	1	60,000 hab.	60,000	43,557
San Agustín de Cajas	11,257	I1	1	3,000 hab.	3,000	51,743
		I3	1	60,000 hab.	60,000	
<b>Total</b>	<b>410,505</b>		<b>40</b>		<b>578,000</b>	<b>165,495</b>

I1: Posta de Salud; I2: Posta de Salud con Médico; I3: Centro de Salud; I4: Centro de Salud con Internamiento.

FUENTE: PLAN DE DESARROLLO URBANO 2015 – 2025

Infraestructura del Puesto de Salud de Pilcomayo: Pilcomayo, cuenta con un Puesto de Salud Categorizado I-3(ver tabla I.7). Llamado material que se construye en una sola planta, contando con los servicios básico. Con un área de terreno 6905,40 m<sup>2</sup>, con un área construida de 1231,33 m<sup>2</sup> y 5674,07 m<sup>2</sup> de áreas verdes, contando con amplio espacio para construir más ambientes.

Recursos Humanos: El Puesto de Salud de Pilcomayo, cuenta con 02 profesionales en medicina general, 01 odontólogo, 03 obstetras, 01 asistente social, 02 enfermeras, 01 técnico de laboratorio y 05 técnicos de enfermería.

<sup>7</sup> Análisis de situación de salud(ASIS) Pilcomayo Autor: Alumnos de la Facultad de Enfermería de la Universidad Nacional del Centro del Perú Pag.33

Material y equipamiento: El Puesto de Salud de Pilcomayo, cuenta solo con equipos de varios usos en cirugías, varias unidades odontológicas y muchos más equipos de hospitalización, unidades odontológicas. El horario de atención se de lunes a domingo de 7:00 horas a 19:00 horas.

## b. EDUCACION

En el Distrito de Pilcomayo existen 27 Instituciones Educativas: 21 del nivel inicial; 05 del nivel primario, 01 del nivel secundario (ver tabla I.8). Del total de la población estudiantil del distrito de Pilcomayo, aproximadamente el 78% estudian en instituciones públicas y el 28% en instituciones privadas. Además, cuenta con una universidad privada y un centro de instrucción de la Policía Nacional del Perú.

En cuanto a educación el Distrito de Pilcomayo cuenta con una asistencia regular del sistema educativo, el 79.3% tienen una edad de 6 a 24 años, conociendo que el 79.3% tienen una edad de 6 a 11 años, asimismo el 95.9% señalan que tienen una edad de 12 a 16 años, sabiendo que un 94,9% tienen una edad de 17 a 24 años, que se registran solamente un porcentaje asistencial escolar de 56.6%.

Tabla I-8 PROVINCIA HUANCAYO NUMERO DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE EDUCACION BASICA REGULAR, SEGUN EL DISTRITO Y NIVEL EDUCATIVO - GESTION PUBLICA, 2011

Distrito	Total		Inicial		Primaria		Secundaria	
	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%
Pariahuanca	70	8.99%	29	6.81%	33	11.87%	8	10.67%
Pilcomayo	27	3.47%	21	4.93%	5	1.80%	1	1.33%
Pucara	23	2.95%	9	2.11%	12	4.32%	2	2.67%

Fuente: Ministerio de Educación – Patrón de Instituciones Educativas.

## c. AGUA POTABLE<sup>8</sup>

La población del distrito de Pilcomayo tiene cobertura del servicio de agua potable en un 79%, de los cuales solo el 62,22% cuenta con el servicio entre 1 y 4 horas (cada dos días), 30% entre 5 a 8 horas y el 3.17% las 24 horas.

<sup>8</sup> PLAN DE DESARROLLO URBANO DE HUANCAYO 2015-2025

En el distrito de Pilcomayo existen dos fuentes de captación de agua: una proveniente del proyecto de Coyllor y el segundo del manantial de Patarcocha; ambos alimentan las redes de agua potable a la mayor parte del distrito, existiendo un servicio deficiente de agua potable, como es el caso de los barrios de Maravillas, Villa Mantaro, Miraflores y el sector Centro cuentan con el servicio de agua potable de 2 a 3 horas interdiarias, el cual constituye uno de los mayores problemas para la población. (Ver Tabla I.9)

Tabla I-9 ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA VIVIENDA A NIVEL DE SECTORES

CUADRO 3.5-A PROVINCIA Y: ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA VIVIENDA A NIVEL DE SECTORES Año: 2007														
Categoría	Total ACMH		Sector											
	Viv.	%	Huancayo		El Tambo		Chilca		Huancan		Pilcomayo		S. A. Cajas	
	Viv.	%	Viv.	%	Viv.	%	Viv.	%	Viv.	%	Viv.	%	Viv.	%
Red Pública Dentro de la Vivienda (Agua Potable)	64,128	78.31	20,224	31.54	27,365	42.67	11,672	18.20	1,552	2.42	2,252	3.51	1,063	1.66
Red Pública Fuera de la Vivienda	10,900	13.31	3,106	28.50	4,487	41.17	2,360	21.65	88	0.81	250	2.29	609	5.59
Plón de Uso Público	509	0.62	153	30.06	157	30.84	125	24.56	20	3.93	30	5.89	24	4.72
Camión Sistema u Otro Similar	222	0.27	14	6.31	22	9.91	168	75.68	16	7.21	2	0.90	0	0.00
Pozo	2,860	3.49	251	8.78	97	3.39	932	32.59	1,236	43.22	200	6.99	144	5.03
Río Acequia, Manantial o Similar	775	0.95	302	38.97	103	13.29	101	13.03	127	16.39	28	3.61	114	14.71
Vecino	1,972	2.41	536	27.18	656	33.27	440	22.31	143	7.25	87	4.41	110	5.58
Otro	523	0.64	101	19.31	227	43.40	103	19.69	55	10.52	15	2.87	22	4.21
<b>Total</b>	<b>81,889</b>	<b>100.00</b>	<b>24,687</b>	<b>30.15</b>	<b>33,114</b>	<b>40.44</b>	<b>15,901</b>	<b>19.42</b>	<b>3,237</b>	<b>3.95</b>	<b>2,864</b>	<b>3.50</b>	<b>2,086</b>	<b>2.55</b>

Fuente: Diagnostico Urbana (Plan de desarrollo Urbano Huancayo 2015-2025)

#### d. DESAGÜE

El sistema de desagüe cuenta con una línea principal de tuberías que prácticamente ya ha colapsado. El 76% de las viviendas cuentan con instalaciones de desagüe en sus domicilios y el 24% siguen utilizando los “silos” y letrinas que es un problema para la salud de la población. Pilcomayo no cuenta con pozas de oxidación, lo que contribuye a la contaminación de las aguas del río Mantaro. Por otro lado, no existe sistema de alcantarillado pluvial, por lo que en temporada de lluvias hay inundaciones en las vías principales y calles durante los meses de setiembre a marzo.

FIGURA I.2 VOLUMEN DE AGUAS RESIDUALES

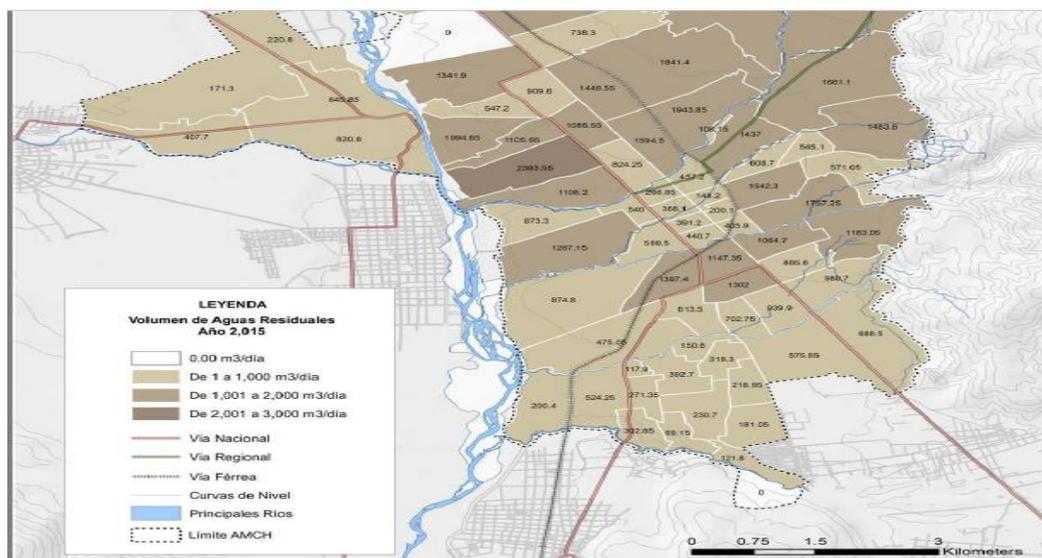


FIGURA I-2 VOLUMEN DE AGUAS RESIDUALES

Fuente: Diagnostico Urbano (Plan de desarrollo Urbano Huancayo 2015-2025)

### e. ENERGIA ELECTRICA

De acuerdo a los datos del último Censo de Población y Vivienda, el 4.26% de viviendas no cuentan con el servicio de energía eléctrica en sus domicilios, de igual manera existe un alto porcentaje de calles que no cuenta con el servicio de alumbrado público, el cual es un riesgo para la población de Pilcomayo.

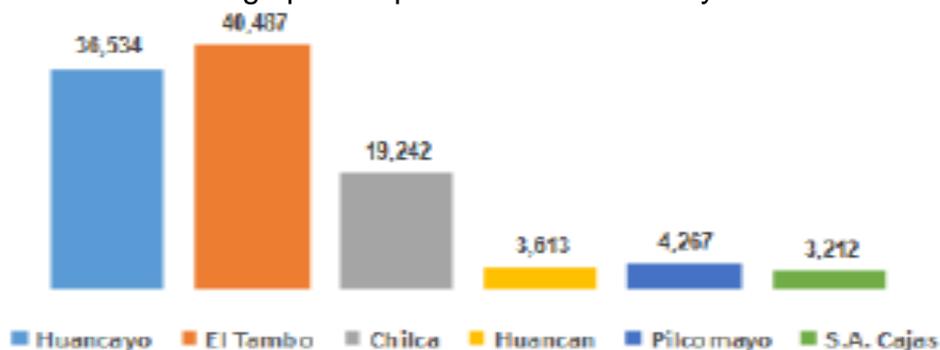


FIGURA I-3 SUMINISTROS ELECTRICOS COMUNES, A NIVEL DE DISTRITOS, AÑO 2013

Fuente: Diagnostico Urbano (Plan de desarrollo Urbano Huancayo 2015-20205)

### f. VIAS DE COMUNICACIÓN

Entre las vías de comunicación más comerciales tenemos a la vía de Huancayo a Pilcomayo, que dura entre 15 a 25 minutos aproximadamente, mientras que por la carretera central está desde Lima, Cañete, Yauyos, Chupaca y Huancayo. A eso se suma los transportes mas rápidos llamados autos colectivos o minivan.

## 1.8.11. ASPECTOS PRODUCTIVOS

### a. POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA (PEA)

La Población Económicamente Activa (PEA) de un país está compuesta por toda persona en edad laboral que trabaja en un empleo remunerado (población empleada) o bien se halla en plena búsqueda. En el caso del Perú, la Población Económicamente Activa está conformado por las personas mayores de 15 años.

En cuanto al género tenemos que el 47% son varones y 53% son mujeres. En cuanto a la ocupación de la población se tiene que el 1.26% del total pertenecen al PEA. Con un 95.96 % Ocupada y desocupada 4.06%( Ver tabla I.10)

Tabla I-10 POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA A NIVEL DE SECTORES AÑO 2007

Sectores	Población Total	PEA					
		Total		Ocupada		Desocupada	
		ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
Huancayo	110,842	46,921	12.59	44,659	95.18	2,262	4.82
El Tambo	146,375	59,009	15.83	55,949	94.81	3,060	5.19
Chilca	77,313	29,251	7.85	27,885	95.33	1,366	4.67
Huancan	14,903	5,105	1.37	4,870	95.40	235	4.60
San Agustín de Cajas	9,957	3,324	0.89	3,173	95.46	151	4.54
Pilcomayo	13,295	4,705	1.26	4,514	95.94	191	4.06
Tarma	205,425	79,800	39.80	141,050	95.10	7,265	4.90

Fuente: Plan De Desarrollo Urbano De Huancayo 2015-2025

## b. ACTIVIDAD AGRICOLA

Los terrenos que existen el Distrito de Pilcomayo, son mayormente agrícolas, teniendo una parte de terrenos del tipo franco arenosas y el otro tipo de terreno en la zona plana de textura franca arcillosa, como quien se va para el cementerio de Pilcomayo.

Superficie Agrícola: El 74.23% de los terrenos agrícolas cuentan con un sistema de bajo riego (ver tabla I.10) además cuenta con dos afluentes de irrigación, uno de parte del Rio Mantaro y otro del Río Cunas.

Tabla I-11 SUPERFICIE AGRICOLA EN EL AREA DE ESTUDIO

DISTRITO	SUPERFICIE AGRICOLA				
	TOTAL	EN SECAÑO		BAJO RIEGO	
		ha	%	ha	%
Chupaca	2 117,07	248,74	11,75	1 868,33	88,25
Ahuac	1 935,51	1 184,10	61,18	751,41	38,82
Chongos Bajo	854,00	283,46	33,19	570,54	66,81
Huachac	1 346,52	496,23	36,85	850,29	63,15
Huamancaca Chico	810,91	378,09	46,63	432,82	53,37
San Juan de Iscos	1 510,39	980,82	64,94	529,57	35,06
Tres de Diciembre	1 046,74	348,18	33,26	698,56	66,74
Chambará	1 194,62	1 109,82	92,90	84,80	7,10
Manzanares	489,21	360,82	73,76	128,39	26,24
Orcotuna	3 181,58	1 677,80	52,74	1 503,78	47,26
Chupuro	496,07	383,15	77,24	112,92	22,76
Pilcomayo	349,25	89,29	25,57	259,96	74,43
Sicaya	3 295,12	691,48	20,98	2 603,64	79,02

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario 1994

Principales Productos Agrícolas: El producto con mayor demanda en el distrito de Pilcomayo, es la zanahoria, debido al tipo de suelo y la demanda que existe en el mercado; adicionalmente se cultivan la papa, maíz, trigo, haba, arveja, cebolla, entre otros.

### c. ACTIVIDAD PECUARIA

en el Distrito de Pilcomayo, se crían animales Vacunos, Porcinos, Ovinos, Caprinos Alpacas y Llamas. (Ver tabla I.12)

Tabla I-12 PROVINCIA DE HUANCAYO: PRODUCCION PECUARIA

Distritos	Vacunos	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Alpacas	Llamas
Huancayo	2,121	124	5,789	42	821	1,548
El Tambo	2,209	859	3,682	5	674	222
Chilca	540	95	629	2	1	2
Huacán	715	300	713	14	1	0
Pilcomayo	164	118	175	2	0	0
S. A. Cajas	1,005	182	785	1	2	20
<b>TOTAL</b>	<b>6,754</b>	<b>1,678</b>	<b>11,773</b>	<b>66</b>	<b>1,499</b>	<b>1,792</b>
<b>Provincia de Huancayo</b>	<b>32,166</b>	<b>10,985</b>	<b>88,273</b>	<b>718</b>	<b>4,443</b>	<b>5,087</b>

Fuente: Censo Agropecuario 2012

### d. ACTIVIDAD TURISTICA <sup>9</sup>

La actividad turística en la actualidad no está muy difundida en el distrito de Pilcomayo, sin embargo, es necesario indicar que es posible desarrollar el turismo ya que cuenta con diversidad de paisajes, mostrando diversas plantas y árboles, así también podemos encontrar la Villa Mantaro, más conocido como Las Brisas.

#### 1.8.12. ESTUDIO DE TRAFICO

El estudio de tráfico se realizó, en el periodo comprendido entre los días 27 de febrero a 05 de marzo del 2017, en jornadas de 24 horas, con los formatos estipulados por el MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) esta información nos ayudara a determinar la cantidad, tipo y clase de vehículo que pasan en ambos sentidos así mismo con esto podremos calcular el ESSAL para nuestro diseño metodológico de Marshall Ver Anexo 3.

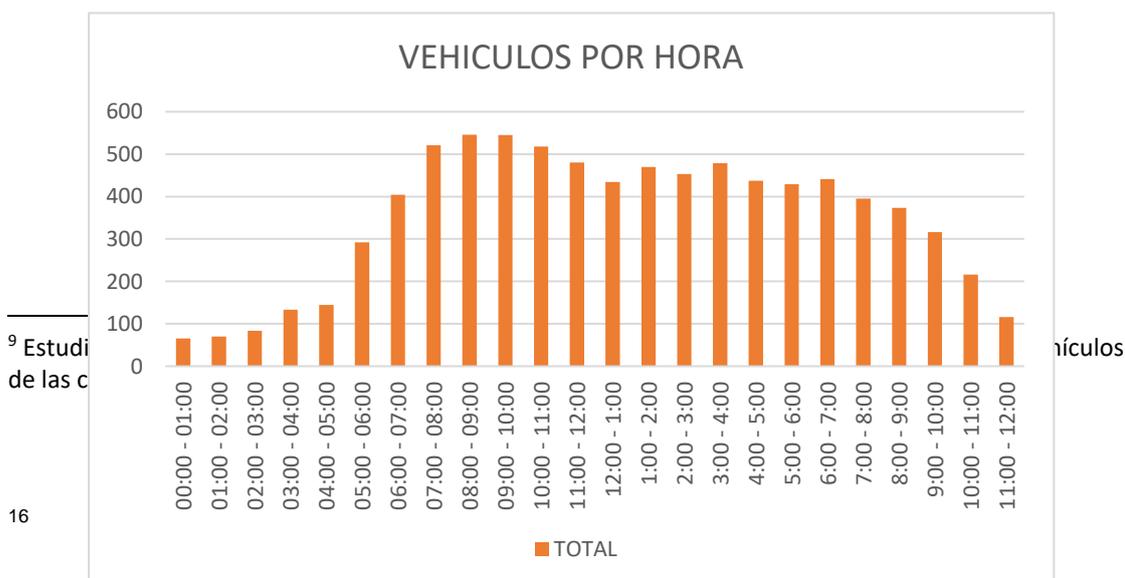


FIGURA I-4 FLUJO VEHICULAR POR HORA

Fuente: Elaboración Propia (Anexo 3)

Tabla I-13 ESTUDIO DE TRAFICO DE LA AV. CORONEL PARRA.

TIPO DE VEHICULO	TRAFICO VEHICULAR EN DOS SENTIDOS POR DIA			IMDs	FC	IMDa	DISTRIBUCION	
	L - V	SABADO	DOMINGO					
<b>VEHICULOS LIGEROS</b>	34865	7740	7393	7143	1.054813	7534.08	92.42	
<b>BUS</b>	2E	633	143	128	129	1.094462	141.34	1.73
	3E	0	0	0	0	1.094462	0.00	0.00
	4E	0	0	0	0	1.094462	0.00	0.00
<b>CAMION</b>	2E	1292	338	299	276	1.094462	301.60	3.70
	3E	370	70	63	72	1.094462	78.64	0.96
	4E	93	21	35	21	1.094462	23.30	0.29
<b>SEMI TRAILER</b>	2S2	0	0	0	0	1.094462	0.00	0.00
	2S3	24	1	5	4	1.094462	4.69	0.06
	3S3	29	4	14	7	1.094462	7.35	0.09
	3S4	287	46	57	56	1.094462	60.98	0.75
<b>TOTAL</b>	37593	8363	7994	7707		8151.98	100.00	

Fuente: Elaboración Propia (Anexo 3)

MEDIO DE TRANSPORTE	IMDA	PESO TOTAL (Tn)	PESO POR EJES (Tn)			PESO TOTAL (Kips)	Lx POR EJES (Kips)	L2	B <sub>x</sub>	EALF <sub>i</sub> (POR EJE)	FACTOR CAMIÓN FC=ΣEALF <sub>i</sub>	FC*IMDA
			EJE	%	Lx							
<b>CATEGORIA " M "</b>	<b>7676</b>											
<b>AUTOMOVILES</b>			Del.	50.0%	1.50	6.608	3.304	1	0.401	0.0010221		
	1507	3.00	Post. 01	50.0%	1.50		3.304	1	0.401	0.0010221	0.002044	3.0801814
<b>STATION WAGON</b>			Del.	50.0%	1.75	7.709	3.855	1	0.401	0.0018174	0.003635	5.4777364
	1507	3.50	Post. 01	50.0%	1.75		3.855	1	0.401	0.0018174		
<b>CAMONETA PICK UP</b>			Del.	50.0%	2.50	11.013	5.507	1	0.403	0.0073516	0.014703	22.1577994
	1507	5.00	Post. 01	50.0%	2.50		5.507	1	0.403	0.0073516		
<b>PANEL</b>			Del.	50.0%	2.50	11.013	5.507	1	0.403	0.0073516	0.014703	22.1577994
	1507	5.00	Post. 01	50.0%	2.50		5.507	1	0.403	0.0073516		
<b>COMBI</b>			Del.	50.0%	3.50	15.419	7.709	1	0.408	0.0293085	0.058617	88.3358525
	1507	7.00	Post. 01	50.0%	3.50		7.709	1	0.408	0.0293085		
<b>BUS (B2)</b>			Del.	38.9%	7.00	39.648	15.419	1	0.462	0.5353527	3.680582	518.9620021
	141	18.00	Post. 01	61.1%	11.00		24.229	1	0.647	3.1452289		
<b>VEHICULOS PESADOS</b>												
<b>CATEGORIA " N "</b>	<b>480</b>											
<b>C=CAMION</b>												
<b>CAMON (C2)</b>			Del.	38.9%	7.00	39.648	15.419	1	0.462	0.5353527	3.680582	1107.8550541
	301	18.00	Post. 01	61.1%	11.00		24.229	1	0.647	3.1452289		
<b>CAMON (C3)</b>			Del.	28.0%	7.00	55.066	15.419	1	0.462	0.5353527	2.546339	198.6144659
	78	25.00	Post. 01	72.0%	18.00		39.648	2	0.533	2.0109866		
<b>CAMON (C4) 1-3</b>			Del.	23.3%	7.00	66.079	15.419	1	0.462	0.5353527	1.819288	42.3894155
	23	30.00	Post. 01	76.7%	23.00		50.661	3	0.481	1.2839355		
<b>CATEGORIA " O "</b>												
<b>TS=TRACTO CAMIÓN + SEMIREMOLQUE</b>												
<b>T2S2</b>			Del.	19.4%	7.00	79.295	15.419	1	0.462	0.5353527	5.691568	26.6934549
	5	36.00	Post. 01	30.6%	11.00		24.229	1	0.647	3.1452289		
			Post. 02	50.0%	18.00		39.648	2	0.533	2.0109866		
<b>T2S3</b>			Del.	18.3%	7.00	94.714	15.419	1	0.462	0.5353527	5.471854	38.3029766
	7	43.00	Post. 01	25.6%	11.00		24.229	1	0.647	3.1452289		
			Post. 02	58.1%	25.00		55.066	3	0.505	1.7912722		
<b>T2Se3</b>			Del.	14.9%	7.00	103.524	15.419	1	0.462	0.5353527	8.836797	13.3428669
	2	47.00	Post. 01	23.4%	11.00		24.229	1	0.647	3.1452289		
			Post. 02	23.4%	11.00		24.229	1	0.647	3.1452289		
			Post. 03	38.3%	18.00		39.648	2	0.533	2.0109866		
<b>T3S2</b>			Del.	16.3%	7.00	94.714	15.419	1	0.462	0.5353527	4.557326	2.8748058
	1	43.00	Post. 01	41.9%	18.00		39.648	2	0.533	2.0109866		
			Post. 02	41.9%	18.00		39.648	2	0.533	2.0109866		
<b>T3Se2</b>			Del.	14.9%	7.00	103.524	15.419	1	0.462	0.5353527	8.836797	23.1935160
	3	47.00	Post. 01	38.3%	18.00		39.648	2	0.533	2.0109866		
			Post. 02	23.4%	11.00		24.229	1	0.647	3.1452289		
			Post. 03	23.4%	11.00		24.229	1	0.647	3.1452289		
<b>T3Se3</b>			Del.	13.0%	7.00	118.943	15.419	1	0.462	0.5353527	7.702555	469.8558454
	61	54.00	Post. 01	33.3%	18.00		39.648	2	0.533	2.0109866		
			Post. 02	20.4%	11.00		24.229	1	0.647	3.1452289		
			Post. 03	33.3%	18.00		39.648	2	0.533	2.0109866		
<b>DICE MEDIO DIARIO ANUAL</b>	<b>8156</b>										Σ =	<b>2583.2937725</b>
r =	3.00%	Tasa de crecimiento										
Y =	15	Periodo de diseño										
G =		Factor de de crecimiento										
D =	0.5	Factor de Distribución en Dirección										
L =	1	Factor de Distribución por Carril										
						$(G)(Y) = \frac{(1+r)^Y - 1}{r}$						
						$(G)(Y) = 18.5989$		FACTOR DEL TRAFICO VEHICULAR ACUMULADO				
$ESAL = \sum_{i=1}^m FACTORCAMIÓN_i \times IMDA_i (G)(D)(L)(Y) \times 365$												= 8,768,478.66

FIGURA I-5 CALCULO DE ESAL

Fuente: Elaboración Propia (Anexo 3)

## CAPITULO II MARCO TEORICO

### 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN:

#### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES:

El Bach. Maila Paucar Manuel Elias, sustento el año (2013) su tesis: “**COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA, CON POLIMERO ETILENO VINIL ACETATO (EVA)**”. a la Universidad Central del Ecuador con la finalidad de optar el título de ingeniero civil. En su investigación la autora trata de explicar de que con una mezcla asfáltica no convencional se debería poder mermar los daños viales que se producen. Así mismo después de haber realizado su investigación.

La autora llega a la conclusión de que después de haber ejecutado los ensayos proyectados en el laboratorio, observo un eminente progreso con respecto a las propiedades mecánicas como por ejemplo tenemos a la resistencia a la tensión que es indirecta, así mismo en la resistencia a la perdida por desgaste, también en la estabilidad, de la misma manera en el flujo y finalmente en la susceptibilidad térmica de la mezcla asfáltica no convencional en relación a la mezcla asfáltica convencional, con estos resultados esperados se ratifica que los daños viales mermaran cuando se emplee esta mezcla la autora también nos da como recomendación que debe de realizarse un tramo de prueba en obra para que esto nos permita constatar realmente las mejoras obtenidas en la mezclas asfáltica no convencional realizadas en la presente tesis que fueron elaboradas solamente en el laboratorio.

- El Bach. Lina Marcela Ramírez Jiménez, sustento el año (2011) su tesis: “**PAVIMENTOS CON POLIMEROS RECICLADOS**”. a la Escuela de Ingeniería de Antioquia con la finalidad de optar el título de ingeniero civil. En su investigación la autora nos trata de explicar cuáles serían las mejoras al confrontar las propiedades mecánicas de asfalto convencional al ser con las de un asfalto no convencional o modificado con los polímeros reciclados ya sea caucho e icopor. La autora después de haber realizado la modificación de asfalto convencional con caucho percibió que la temperatura optima de mezclado para el asfalto caucho debe ser mayor a (180°C) ya que en esta la textura es realmente homogénea así mismo a una menor temperatura (150°C) se observa una combinación con grumos. La autora nos

recomienda que es necesario la reutilización del poliestireno expandido debido que este es adquirido del petróleo siendo este un recurso no renovable así que el lapso de consumo en el mercado es corto por consiguiente existe mayor cantidad de este material en los colectores de residuos sólidos. También cabe la probabilidad de que se pueda emplear el poliestireno en la carpeta asfáltica como un agregado pétreo para poder beneficiarse de este polímero se ordena hacer diferentes pruebas para así poder constatar que este cumpla con el reglamento que se encargan de normalizar los agregados pétreo. De igual manera las propiedades que son de gran predilección para la pavimentación como la granulometría, el tamaño de la partícula, la limpieza, la dureza, la forma, la capacidad de absorción, la textura superficialmente y finalmente la afinidad con el asfalto. Y como ultima recomendación que nos da la autora es que existe un modificador superficial que nos brinda la propiedad de afinidad para el poliestireno y la matriz asfáltica.

- El Bach. Riaño S., Francisco J. sustento el año (2013) su tesis: **“ANALIZAR LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE ASFALTOS MODIFICADOS CON DIVERSOS POLIMEROS COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE CARRETERAS”**. a la Universidad José Antonio Páez con la finalidad de optar el título de ingeniero civil. El autor de este trabajo nos trata de explicar que para la fabricación y preservación de las carreteras se comparara entre las ventajas y las desventajas de los asfaltos no convencionales de diferentes polímeros. Así mismo el autor después de haber empleado los diferentes polímeros noto que se modificaron las propiedades en la capa asfáltica gracias a esto se incorporó propiedades nuevas a los asfaltos no convencionales mejorando las características de estas. Así que cada polímero brindara una diferente propiedad al asfalto según las exigencias del pavimento ya que dependerá mucho de las exigencias ya sea tráfico, temperatura, tipo de terreno u otros. Finalmente, el autor nos da como recomendación que para encontrar un diseño optimo y que esté de acuerdo a los parámetros que nos exige el reglamento se debe proseguir con el análisis del producto de los diferentes polímeros en las mezclas convencionales en diferentes grados.

### 2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES:

- El Bach. Carrizales Apaza, José Javier sustentó el año (2015) su tesis: **“ASFALTO MODIFICADO CON MATERIAL RECICLADO DE LLANTAS PARA SU APLICACION EN PAVIMENTOS FLEXIBLES”** a la Universidad Nacional del Altiplano con la finalidad de optar el título de ingeniero civil. El autor de este trabajo nos trata de explicar cuál es la distinción de la mezcla asfáltica no convencional modificada con material reciclado de llanta con respecto a una convencional y con su respectiva adherencia en los pavimentos no rígidos. El autor después de haber realizado distintas pruebas, con diferentes diseños en el laboratorio del asfalto modificado con caucho y haber adquirido valores muy por debajo de la mezcla asfáltica convencional a través del ensayo Marshall sin que estos resultados puedan cumplir las exigencias de la normativa llega a la conclusión de que el asfalto no convencional modificado con caucho no presenta ninguna mejora con respecto al comportamiento físico – mecánico. Así mismo nos sugiere que para poder tener conocimientos más certeros y más confiables con respecto al asfalto modificado de diferentes tipos es necesario tener laboratorios con equipos especializados y para eso es primordial capacitar a todo el personal técnico que se verá involucrado con esta nueva ciencia.
- El Bach. Pereda Rodríguez, Danfer Alonso y el Bach. Cubas Parimango, Nahum Octavio sustentaron el año (2015) su tesis: **“INVESTIGACION DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS CON EL USO DE CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS Y SU COMPARACION TECNICO ECONOMICO CON LOS ASFALTOS CONVENCIONALES”** a la Universidad Privada Antenor Orrego, con la finalidad de optar el título de ingeniero civil. Los autores de este trabajo nos tratan de argumentar como el asfalto convencional con respecto al asfalto no convencional modificado con caucho reciclado de llanta tiene notablemente un menor comportamiento físico mecánico y también posee desventajas económicas a través de pruebas en el laboratorio. Así mismo los autores después de haber ejecutado las pruebas respectivas en el laboratorio llegan a la conclusión de que la adherencia de polvo de llantas a la mezcla asfáltica no convencionales RC 70 ayuda a mejorar está en el comportamiento físico mecánico. También esta adherencia tiene como principal bondad de mejorar la resistencia a la deformación plástica, así se percibió en el comportamiento del asfalto no convencional RC 70 como por ejemplo en la recuperación elástica torsión haciendo a esta un 37% mas recuperable que la

de un asfalto convencional. De tal manera que los autores nos dan como recomendación que gracias a este asfalto modificado con caucho se podrá disminuir los costos generados por los mantenimientos preventivos, también nos brindará como principal característica el de poder disminuir el espesor de la capa de rodadura y que esta tenga la misma capacidad estructural de una capa rodadura sin disminuir y esta nueva técnica debería ser aplicada en la pavimentación de las carreteras.

- El Ing. Nestor W. Huaman Guerrero sustento el año (2011) su tesis: **LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL PERÚ**, a la escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de Ingeniería, con la finalidad de optar el grado académico de maestro en ciencias con mención en ingeniería de transportes. El autor de este trabajo nos trata de dar a entender cuál es conocimiento existente con respecto a los mecanismos que causan las deformaciones permanentes en los pavimentos asfálticos deliberando los principios que lo generan y cuáles son los equipos necesarios a emplearse para estudiar este problema. Así mismo el autor después de haberse bañado en conocimiento de las deformaciones en los pavimentos asfálticos llega a la conclusión de que en la geografía que existe en el Perú, ya sea selva alta o en la selva baja con sus altas temperaturas o en la costa con unos 3000 km de largo al borde del océano pacifico que en estación de verano tiene como máxima temperatura unos 40°C bajo sombra, haciendo que estas diferentes temperaturas sometan a las carpetas asfálticas y por consecuente estas presenten una alta temperatura que se encuentran en el asfaltado, igual forma el autor nos da como recomendación principal que todo parte de realizar una adecuada elección del ligante asfáltico según la zona donde se aplicará la mezcla asfáltica y así poder menguar el efecto de la temperatura en la deformación de la mezcla así que el ligante asfáltico deberá ser menos susceptible a la temperatura para así ganar mayor resistencia a la deformación plástica en altas temperaturas. Así mismo se desea que el asfalto tenga susceptibilidad a la viscosidad. Se debe tener cuidado con exceder en el contenido de asfalto ya que esto nos puede originar deformaciones plásticas en la mezcla asfáltica y esto nos perjudicaría más aún si es en una zona de altas temperatura que tendrá como déficit principal la falta de adherencia y cohesión entre los agregados y

el ligante asfáltico teniendo como principal consecuencia el debilitamiento estructural de la carpeta asfáltica y como resultado final hacerla fallar.

## 2.2. BASE TEORICA

### 2.2.1. CARACTERISTICAS FISICAS DE UNA CALZADA

Según Rojas, F. (2011) en sus publicaciones manifiesta que la calzada cuando tiene en forma íntegra sus propiedades físico – mecánicas en su superficie de rodadura va a permitir una adecuada movilización de los vehículos, dándole por ende un tránsito seguro y de calidad, por lo que su deterioro es debido a varios factores como el incremento abrupto del tránsito vehicular de sobrecarga y las condiciones climáticas de la zona, además intervine las características del pavimento o afirmado, en cuanto a la subrasante, los espesores de las capas y las propiedades de los materiales que los constituyen se muestran en la FIGURA II-1<sup>(9)</sup>

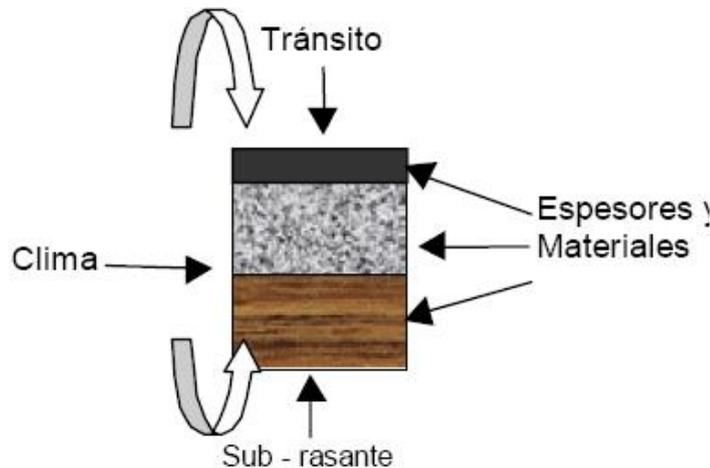


FIGURA II-1 ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL COMPORTAMIENTO DE UNA CARRETERA.

#### a. ESQUEMA DEL CICLO DE CONSERVACIÓN VIAL PREVENTIVA

Para Huamán, N. (2011) la inversión y el gasto ocasionado por la permanente rehabilitación de las vías en el territorio peruano produce permanentemente incrementos en la partida presupuestaria de rehabilitación de vías, por lo que es necesario realizar los análisis con el empleo de la “*curva de deterioro vial*” para establecer un ciclo efectivo de conservación para evitar que las vías lleguen a un estado malo (C) o pésimo (D). En las

(FIGURAS II-2 Y II-3) siguientes se ilustra que técnica y económicamente conviene realizar la recuperación de la vía mediante conservación periódica, cuando ha llegado al estado regular (B) que corresponde a la llamada etapa crítica.<sup>(1)</sup>

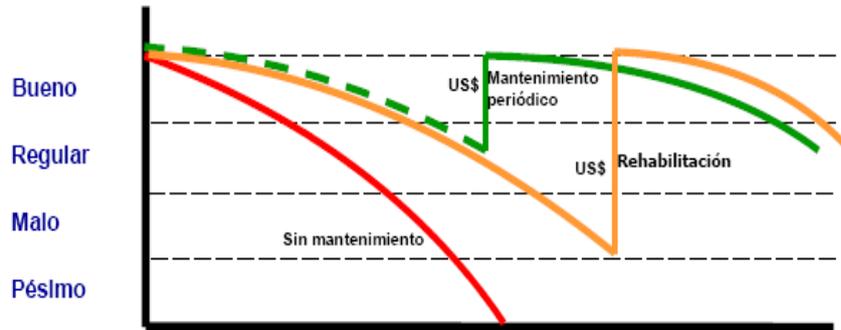


FIGURA II-2 COSTOS COMPARATIVOS DE CONSERVACIÓN O RECUPERACIÓN DE CALZADAS EN DIFERENTES ESTADOS.

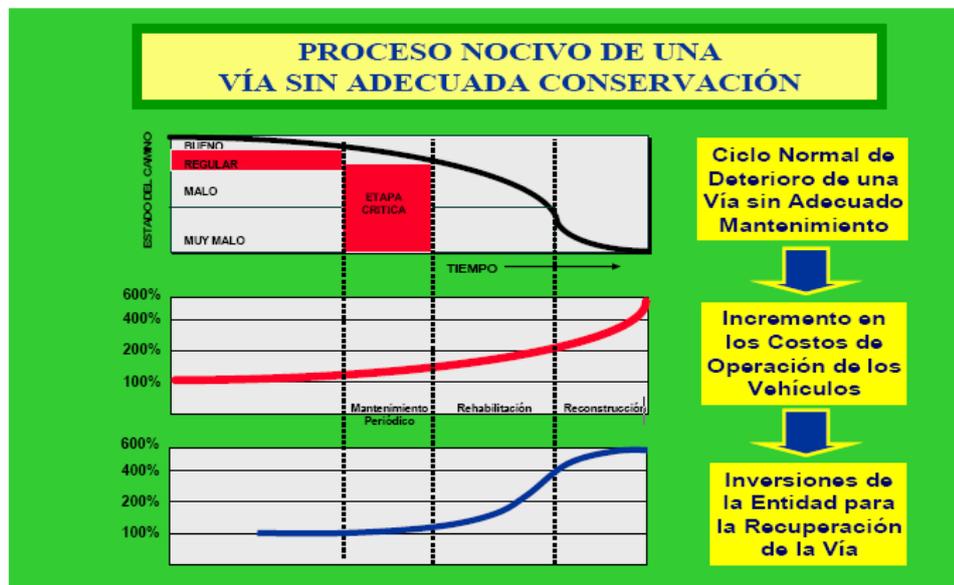


FIGURA II-3 PROCESO NOCIVO DE UNA VÍA SIN ADECUADA CONSERVACIÓN.

Arbeláez, P. (2015) en su manual de investigación técnica vial, recomienda que las condiciones viales – automotriz se pueden mantener en aceptables condiciones siempre y cuando se realicen los mantenimientos e intervenciones de ser posible de forma diaria para conservar la integridad de los elementos de la vía, evitando de esta manera el deterioro prematuro de la red vial, siendo oportuno los mantenimientos viales deberán ser cíclicos haciendo lo posible de reparar los tramos afectados. Para el Perú se han fijado los valores de IRI que se muestran en la TABLA II-1 siguiente:<sup>(3,20)</sup>

TABLA II-1 ESTADO VIAL SEGÚN LA RUGOSIDAD.

	Pavimentadas	No pavimentadas
Estado	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2,8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2,8 < IRI \leq 4,0$	$6 < IRI \leq 8$
Malo	$4,0 < IRI \leq 5,0$	$8 < IRI \leq 10$
Muy malo	$5 < IRI$	$10 \leq IRI$

FUENTE MTC. Proviás Nacional. Gerencia de Planificación y Presupuesto. Elaboración de Diagnóstico de la Unidad de Gestión de Carreteras e Implementación del Sistema de Gestión de Carreteras de Proviás Nacional. Lima, noviembre de 2005.

La pertinencia de los valores anteriores para las condiciones de las redes viales en cuanto al tránsito y al territorio - Costa, Sierra, Selva – debe ser motivo de investigación rigurosa.<sup>(24)</sup>

## 2.2.2. PAVIMENTO

Según Fajardo, C. (2014) concuerda con el investigador Riaño, S. (2013) al manifestar que es frecuente y probable que la no integridad de las vías se debe ocasionalmente por las abrasiones y los esfuerzos cortantes ocasionados por la circulación vehicular y la actividad de las personas de alterar la integridad de las vías de manera intencional, caída de materiales y comprensión de los elementos que se apoyan en la vía, además se debe tener en cuenta que la sub-base, base y carpeta asfáltica deben estar debidamente estructuradas para soportar el tránsito vehicular y de cargas de tránsito (camiones de carga y otros vehículos pesados).<sup>(25)</sup>

### a. PAVIMENTO FLEXIBLE

Es una estructura que soporta las cargas debidas al tránsito y las distribuye uniformemente a la sub-rasante; su estabilidad depende de las características de los materiales y de los espesores de las capas que lo constituyen.

### b. ESTRUCTURA BÁSICA DEL PAVIMENTO

El pavimento flexible estructuralmente está conformado por los siguientes elementos.<sup>(12,27)</sup>

### b.1. BASE

En cuanto a la base que se utiliza en una pavimentación es importante que los materiales puedan ser una mezcla de piedras trituradas y una mezcla natural de agregado en forma granular del suelo. Pudiendo ser el tipo de cemento Portland, a ello se agrega un material de cal o bituminosos.

### b.2. SUB-BASE

Para Arenas, L. (2009) la sub-base está diseñada con el propósito de disipar los esfuerzos mecánicos de la capa subrasante evitando que los componentes de la vía se mezclen, teniendo además como propósito amortiguar los cambios volumétricos bruscos y el efecto de “rebote elástico” de la terracería y del terreno de cimentación, reduciendo así los costos de inversión, por lo que es una capa que está sujeta a menos esfuerzos mecánicos.<sup>(16)</sup>

### b.3. CAPA DE RODADURA

Son conjunto de capas encuentran colocadas conjuntamente con el tipo pétreo, que al mismo tiempo se mezcla con material asfáltico, emulsión que se utiliza en el asfaltado, y que además es impermeable. (9,12,27)

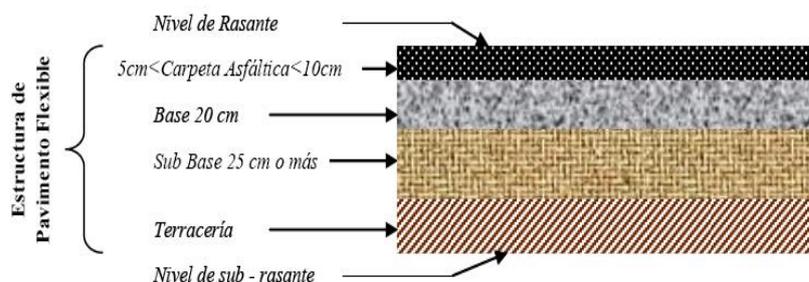


FIGURA II-4 ESTRUCTURA BÁSICA DE LOS PAVIMENTOS ASIÁTICOS.

Según la AIPCR, (2012) las carpetas asfálticas son construidas con material derivado del petróleo, con tratamientos especiales que le van a dar ciertas características de durabilidad, por lo que se distribuyen en forma homogénea en la parte superior del pavimento flexible dando así en conjunto una superficie de rodamiento uniforme y estable, su espesor va a estar en función de la carga y flujo vehicular que va a soportar.<sup>(12)</sup>

Se tiene que contar con las siguientes características del pétreo son:

- Se utiliza también la forma cúbica posible, teniendo la forma de laja.
- El asfaltado tiene que tener la capacidad de poder resistir el rodamiento, resistir el desgaste, manteniendo la estabilidad de los vehículos, así evitar daños en el asfaltado por el aumento de vehículos transitando.

Para Pereda, R. (2015) existe dos condiciones fundamentales para la integridad de las redes viales, una es el de cumplimiento con las especificaciones técnicas de construcción y la otra es la acción del intemperismo a que están sometidas las vías (dependiendo de cada Región del Perú) por lo que cuando se cumple la normatividad de construcción de 2.5 cm mayor o igual nos una garantía de soportar las cargas y de una distribución de los esfuerzos cortantes. <sup>(22,29)</sup>

### **c. MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Es importante realizar el mantenimiento, ya que de ello dependerá la durabilidad del asfaltado. Para ello es importante que exista un programa que sirva la programación del mantenimiento de la pavimentación, evitando así el deterioro rápido, el desgaste, los daños que provocan el tránsito de vehículos pesados. Por qué se debe tener en cuenta el grado de deterioro, el tipo y la frecuencia.

#### **c.1. TENIENDO UNA CLASIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO:**

Se encarga de realizar las correcciones que se lleva a cabo en la corrección del pavimento.

#### **c.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Según Wulf, R. (2008) las operaciones y/o actividades de la construcción de vías asfálticas estarán en función de varios elementos técnicos como: -la topografía, y la geología del terreno de fundación, para así asegurar la durabilidad de la vía, bajo tales elementos técnicos podemos anticipar el deterioro prematuro de los componentes, asimismo prever los problemas de drenaje y de escoger los elementos constructivos de garantía y que respeten las normas ISO de calidad. <sup>(7)</sup>

El mantenimiento se clasifica en:  
c.2.1. **MANTENIMIENTO NORMAL**

▪ **MANTENIMIENTO RUTINARIO:**

Son aquellos trabajos que se realizan, los cuales serán realizados de veces en cuando como son los de un año o menos.

Este tipo de mantenimiento pueden ser constantes o mantenimientos variables, pudiendo estar clasificados por la cantidad de vehículos.

Entre ellos tenemos a los Bacheos, que tienen la finalidad de reponer una superficie rodadura lisa. Así tenemos a los sellos de grietas, en donde sirve para reponer las áreas dañadas.

A eso se suma la limpieza, el cual mantiene un drenaje de las carreteras. Finalmente, esta las reparaciones de diferentes índoles, donde se tiene que conservar el pavimento que lo constituyen como las cunetas, hombros y cabezales.

▪ **MANTENIMIENTO PERIÓDICO:** son aquellas actividades que se desarrollan mediante una programación que se tiene ya planificado y presupuestado a los asfaltados.

Entre ellos podemos mencionar a los sellos de pavimento, el cual contribuyen de alguna manera en evitar que se pudieran empozarse el agua, en aquellos agujeros que se ocasionan por el desgaste del asfalto.

También podemos mencionar a los recarpeteos, el cual es una técnica que coloca una nueva capa de rodadura sobre el pavimento dañado, además se tiene las reposiciones, que ayuda recuperar las secciones original del asfaltado, además se tiene a las reconstrucciones que contribuyen a la reconstruir las áreas dañadas del asfaltado y finalmente se tiene a la aplicación de pintura donde contribuye con la señalización para que pueda existir una adecuada protección para los vehículos. (4,11,21,29)

TABLA II-2 NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN PARA MANTENIMIENTO VIAL.

<p><b>NOMBRE:</b> BACHEO SUPERFICIAL DE CARRETERAS PAVIMENTADAS</p>
<p><b>DESCRIPCIÓN:</b> La reparación a mano de pequeñas áreas de superficies pavimentadas, realizada con mezcla asfáltica, con un espesor máximo de 10 cm de carpeta.</p>
<p><b>PROPÓSITO:</b> Corregir baches, depresiones, rotura de bordes y otras irregularidades que representan peligro, tanto para la vida del pavimento como para los usuarios</p>
<p><b>PROCEDIMIENTO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar señales y dispositivos de seguridad, cuando sea necesario poner Banderilleros.</li> <li>2. Cargar y transportar la mezcla asfáltica a lugares predeterminados y descargar en lugares apropiados. No utilizar mezcla parcialmente endurecida, o que sea pobre en asfalto o se encuentre reseca.</li> <li>3. Extraer material suelto y encuadrar el área a reparar, procediéndose según el tipo de falla. En general las paredes deben quedar parejas y verticales debiendo ser dos de ellas perpendiculares al eje del camino. Si es necesario el fondo del bache se debe Re compactar; si la base está contaminada, se debe ejecutar la actividad Bacheo superficial de carreteras pavimentadas. Antes de colocar la liga, debe aplicar un chorro de aire para eliminar partículas sueltas.</li> <li>4. Aplicar una capa de liga, o imprimación, debiendo calentarse el asfalto a la temperatura adecuada, se debe cubrir toda el área incluyendo las paredes verticales, usando la rociadora manual a presión, evitando la formación de charcos; se debe dar tiempo al asfalto para penetrar en la base y si aún hay charcos, se regará arena sobre ellos y después se barrerá. En caso de no disponerse de Distribuidor-Calentador, esta operación podrá hacerse con una Regadora manual y brocha para las paredes verticales.</li> <li>5. Esparcir la mezcla en capas de 5 cm máximo de espesor cuando se cuente con equipo de compactación y capas de 2.5 cm para compactación a mano. Depositarla en las esquinas, bordes y esparcirla hacia el centro (usar rastrillo para evitar segregación).</li> <li>6. Compactar cada capa con el Rodillo, complementando la compactación con mazos metálicos en las esquinas y áreas que son inaccesibles al Rodillo.</li> <li>7. Asegurar que la mezcla compactada quede a nivel con la superficie del pavimento circundante, con una regla o con una cuerda.</li> <li>8. Remover todo el material suelto del área.</li> <li>9. Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocadas.</li> </ol>

## BACHEO SUPERFICIAL



ANTES: La imagen muestra el área afectada en la vía con el daño de piel de lagarto, la cual deberá ser atendida con bacheo superficial.

FIGURA II-5 BACHEO SUPERFICIAL (PIEL DE COCODRILO) - ANTES.



DURANTE: Se observa en la imagen el proceso de limpieza del área a reponer la carpeta de rodadura.

FIGURA II-6 BACHEO SUPERFICIAL (PIEL DE COCODRILO) - DURANTE.



DESPUES: En la fotografía se aprecia el área de trabajo finalizado.

FIGURA II-7 BACHEO SUPERFICIAL (PIEL DE COCODRILO) - DESPÚES.

TABLA II-3 BACHEO PROFUNDO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS.

<b>NOMBRE: BACHEO PROFUNDO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS</b>
<b>DESCRIPCIÓN:</b> La reparación de fallas mayores en el pavimento, con el reemplazo de la base y sub-base si fuera necesario y colocar un espesor no mayor de 10 m de carpeta asfáltica.
<b>PROPÓSITO:</b> Reponer una superficie de rodadura lisa, impermeable y con su debido soporte estructural
<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar señales y dispositivos de seguridad.</li> <li>2. Marcar el área a ser reparada.</li> <li>3. Remover el material de la superficie, base y sub-base afectada.</li> <li>4. Acarrear material de sub-base, base y mezcla asfáltica. En el caso de material de sub-base y base, calcular el volumen que se necesita.</li> <li>5. Si la zona afectada es profunda, colocar y compactar con el rodillo el material en capas no mayores de 10 cm, hasta llegar al nivel de la base, usar mazos para compactar bordes y esquinas antes de imprimir, aplicarse chorro de aire para eliminar partículas sueltas</li> <li>6. Imprimir uniformemente el área con asfalto, incluyendo las paredes, usando la Rociadora manual. El asfalto debe estar a la temperatura adecuada, dejar penetrar el riego por lo menos 2 horas.</li> <li>7. Esparcir la mezcla asfáltica en capas no mayores de 5 cm, de espesor, compactando cada una de las capas con la compactadora, repasar bordes y esquinas con mazos.</li> <li>8. Asegurar que la mezcla compactada quede nivelada con la superficie circundante, usando regla o cordel.</li> <li>9. Remover todo el material suelto del área.</li> <li>10. Quitar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocadas.</li> </ol>

## BACHEO PROFUNDO



ANTES: La imagen muestra el área afectada en la vía, la cual deberá ser atendida con bacheo profundo, debido a que se observa hundimientos en ella.

FIGURA II-8 BACHEO PROFUNDO (HUNDIMIENTO) - ANTES.



DURANTE: En la fotografía se aprecia el material ya colocado de base quedando pendiente la reposición de la carpeta Asfáltica.

FIGURA II-9 BACHEO PROFUNDO (HUNDIMIENTO) - DURANTE.



DESPUES: Se muestra el área en la cual se realizo trabajo de bacheo profundo.

FIGURA II-10 BACHEO PROFUNDO (HUNDIMIENTO) - DESPÚES.

TABLA II-4 COLOCACIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS DE REFUERZO, (RECARPETEO).

<p><b>NOMBRE:</b>  <b>COLOCACIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS DE REFUERZO, (RECARPETEO)</b></p>
<p><b>DESCRIPCIÓN:</b> La Colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica sobre pavimento existente.</p>
<p><b>CRITERIO PARA LA EJECUCIÓN:</b> Se ejecutará cuando la superficie existente se está deteriorando o se presenten huellas, rugosidad, etc., tomando en cuenta la finalidad de repavimentar cada carretera con superficie asfáltica en forma periódica. De acuerdo a lo determinado por el Departamento de Ingeniería de Mantenimiento.</p>
<p><b>PROCEDIMIENTO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para iniciar la actividad hacer inspección y revisión de todo el equipo. Se deben efectuar por lo menos con una semana de anticipación, para poder corregir cualquier defecto. Comprobar que el área a recarpetar ha sido previamente bachada.</li> <li>2. Solicitar Plataforma y Cabezal para transporte del equipo.</li> <li>3. Traslado del equipo al lugar de la obra, establecimiento de comunicación con la planta de mezcla asfáltica y nueva revisión del equipo.</li> <li>4. Colocar señales y dispositivos de seguridad.</li> <li>5. Marcar la línea guía para la Pavimentadora. Barrer la superficie.</li> <li>6. Aplicar la liga (asfalto RC-250 ó Emulsión Asfáltica) según especificaciones de diseño.</li> <li>7. En el sitio, comprobar la temperatura de la mezcla en cada camión que llega de la Planta.</li> <li>8. Colocar la carpeta bituminosa en caliente, según ancho y espesor establecidos.</li> <li>9. <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Compactar con Rodillo metálico, antes de que enfríe, tratar las juntas primero.</li> <li>b) Compactar con Compactadora Neumática varias pasadas.</li> <li>c) Compactar con Rodillo, la pasada final.</li> <li>d) Los bordes y esquinas compactarlas con martillo metálico.</li> </ol> </li> <li>10. Antes de finalizar la jornada de trabajo, preparar la junta transversal, usando papel adecuado, para continuar al día siguiente.</li> <li>11. Limpiar y revisar el equipo diariamente después de cada jornada de trabajo.</li> <li>12. Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocados.</li> </ol>

*Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. a) Normas y Procedimientos de Ejecución para Mantenimiento Vial Tomo III. SIECA.*

## Recarpeteo.



ANTES: La fotografía muestra la capa de rodadura reparada, sellada y bachada, en espera del proceso de recarpeteo.

FIGURA II-11 RECARPETEO - ANTES.



DURANTE: En la fotografía se observa el equipo de compactación sobre la mezcla asfáltica previamente colocada.

FIGURA II-12 RECARPETEO - DURANTE.



DESPUES: En la imagen se aprecia el proceso de recarpeteo finalizado en un lateral de la calzada.

FIGURA II-13 RECARPETEO - DESPÚES.

### **c.2.2. MANTENIMIENTO DE EMERGENCIA**

Para Agnusdei, J. (2013) lo define como las operaciones de campo de tipo correctivo para efectuar las reparaciones de las carreteras que se deben a condiciones fortuitas como sismos, acción destructiva de crecidas de ríos, derrumbes, construcciones deficientes y otros elementos que de una u otra manera van a requerir de una intervención inmediata.<sup>(24,27)</sup>

### **d. CALIDAD**

Para Huamán, N. (2011) define como el conjunto de acciones, que contribuye con ciertas exigencias que el producto debe ofrecer, reuniendo las siguientes características:

- Realizar un plan de control
- Una mano de obra de calidad.
- Cumplir con ciertas exigencias en la elaboración del producto
- Equipos y herramientas adecuados para su elaboración.

Según el Asphalt Institute, (2012) la calidad del proceso constructivo vial está representado por el “Control de Calidad” de los diferentes componentes que conforman la carretera, por lo que está representado por un conjunto de procedimientos que van a preestablecer las óptimas características y de cumplir con la ejecución del diseño preestablecido de la carretera. Por lo que, en la ejecución de proyecto de construcción, de presentarse inconvenientes técnicos se puedan tomar medidas correctivas y dar solución inmediata como por ejemplo al problema de bacheo. Cumpliendo con el control de calidad, la verificación, obtención de productos de calidad, que la calidad de encuentra asegurada.<sup>(17,26)</sup>

#### **d.1. CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.**

Carrizales, A. (2015) y Bravo, P. (2003) concuerdan que el “Control de Calidad” como tal es un procedimiento que debe cumplirse de forma obligatoria en todo proceso constructivo de ingeniería, en razón que el resultado de este control nos va a dar un indicativo de que parte de la obra tiene deficiencias, por lo que es razonable adquirir los insumos de calidad. Los investigadores realizan un comentario de algunas obras realizadas en El Salvador, donde el contratista asegura que los elementos adquiridos cumplan las normas de calidad y de trabajar en forma

coordinada con la empresa supervisora, siendo muy importante que los insumos pasen rigurosamente los ensayos de laboratorio y que cumplan las expectativas de garantía. <sup>(6,19)</sup>

#### **d.1.1. SISTEMA DEL CONTROL DE CALIDAD**

Es aquel sistema que se encarga de velar por el control de calidad que debe ofrecer todo producto, el cual debe cumplirse correctamente, recursos relacionados internamente, completamente definidos y desplegados en forma coherente para lograr cumplir con las exigencias de calidad de obra, especificadas en los términos contractuales. El sistema de Control de Calidad, lo conforman todos los documentos contractuales, como son:

- Adjudicación de la licitación.
- Especificaciones técnicas.
- Documentos de Aprobación de Requisitos Contractuales.
- Plan de control de Calidad.

También se habla del sistema de control de calidad del contratista, que se refiere a toda la logística y capacidad administrativa y técnica del contratista, para llevar a cabo un autocontrol de calidad adecuado. Este sistema de control del contratista, es respaldado por un Plan de Control de Calidad como requisito obligatorio, a ser presentado al contratante (propietario) y su supervisión, el cual, como tal, pasa a ser un elemento más del sistema de control de calidad. A continuación, se explica más sobre el dicho Plan de Control.

- a) PLAN DE CONTROL DE CALIDAD.** - Es una descripción detallada propuesta por el contratista, del tipo y frecuencia de la inspección, muestreos y ensayo, considerada como necesaria para medir y auto controlar las diferentes características establecidas en las especificaciones de un contrato para cada ítem de trabajo. Prácticamente es un manual de operaciones del contratista.

#### **d.1.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Muner, M. (2010) y Especificaciones Generales EG-2000 (2014) manifiestan que las especificaciones técnicas vienen a ser la normatividad técnica que debe cumplir el constructor para garantizar la serviciabilidad y garantía de la obra ejecutada, por lo que otros autores la denominan como disposiciones o requisitos relativos a la ejecución de la obra, por lo que las especificaciones técnicas son fundamentales en el momento de la licitación y contratación del propietario. <sup>(5,20)</sup>

Estas especificaciones están clasificadas en:

- **GENERALES:** Contiene las actividades aplicadas a obras de Mantenimiento en todos los países centroamericanos.
- **PARTICULARES:** Modifican las especificaciones generales para adecuarlas a las condiciones prevalecientes en los contratos específicos de mantenimiento vial, en cada país centroamericano.

Debido a eso es que las especificaciones técnicas que interesan a nuestro documento, parten de las especificaciones generales desarrolladas en la S.I.E.C.A. para el mantenimiento vial, las cuales pueden encontrarse en detalle en el "Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras". La calidad de mantenimiento depende en gran parte de los procedimientos utilizados durante la ejecución de los trabajos. Por eso, las especificaciones de mantenimiento indican los procedimientos a seguir. La necesidad de mantenimiento puede reducirse mediante la aplicación de normas de diseño enfocadas a reducir y/o facilitar la necesidad de mantenimiento. <sup>(5,20)</sup>

#### d.1.3. PRUEBAS DE LABORATORIO

Pereda, R. (2015) las conceptualiza como los procedimientos técnicos efectuados en un laboratorio de mecánica de suelos, que son sometidos los diferentes elementos de construcción para evidenciar y avalar su función para la cual fueron construidos o diseñados, determinando así sus condiciones físicas y químicas de los agregados, estando regidas obligatoriamente por las Normas y Especificaciones Técnicas precisas del proyecto de ejecución, cumpliendo así la interfase entre el diseño y la construcción de la obra.

Donde se puedan incluir un diseño eficiente que pueda realizarse en caliente, agregados y cemento asfáltico, que son los dos elementos básicos que conforman dichas mezclas (ver TABLAS II-5, II-6.): Los rangos aceptables para las pruebas para agregados, se encuentran sintetizados en la TABLA II-7.

TABLA II-5 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA MATERIALES DE MEZCLA ASFÁLTICA.

Ensayo de laboratorio para AGREGADOS	Norma	Propósito
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 135	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de ante mano qué clase de textura tendrá la carpeta.
Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C 131	EL objeto es conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Esta característica esencial cuando el agregado va a estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de los pavimentos. Es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportarán los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el tráfico además de la idea del grado de Intemperismo que poseen los agregados.
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	Permite obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezcla en rodadura en pavimentos, especialmente cuando éstos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos, el valor del error permisible no debe ser mayor de 0.5%.
Equivalente de Arena	AASHTO T 175 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla en los agregados, ya que es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
Cubilidad de Partículas	ASTM D 692	Se utiliza para determinar valores como el Índice de laja y la cubilidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que debe evitarse partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.
Gravedad específica y absorción del agregados gruesos y finos	AASHTO T 84 AASHTO T 85 ASTM C – 127 ASTM C – 128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido de las partículas constituyente, no se incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que

		constituyen el material comparado con la condición seca cuando se evalúa el comportamiento del agregado con el agua durante un periodo largo tal, que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
Peso Unitario y Vacío	AASHTO T 19 ASTM C 29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la del Proctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.

TABLA II-6 ENSAYO DE LABORATORIO PARA ASFALTOS.

Ensayo de laboratorio para ASFALTOS	Norma	Propósito
Viscosidad	AASHTO 201. ASTM D 2170	En el diseño de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el Cemento asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad que el asfalto tenga dentro de esta misma a una temperatura determinada de trabajo. Este ensayo se usa para clasificar los Cementos Asfálticos a Viscosidad 60°. Mide la consistencia de los Cementos Asfálticos
Penetración	AASHTO T 49 ASTM D 5	Clasifica los asfaltos en grados según su dureza o consistencia medida en décimas de milímetros. Valores altos de penetración, indicarán consistencias suaves.
Punto de Inflamación	AASHTO T 48 ASTM D 92	Tiene por propósito, identificar la temperatura a la cual el asfalto puede ser manejado y almacenado sin peligro que se inflame. El punto de inflamación se mide por el ensayo en copa abierta Cleveland.
Ductilidad	AASHTO T 51 ASTM D 113	Provee de una medida de las propiedades al estiramiento de los cementos asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera la ductilidad como la capacidad que tiene el asfalto de resistir esfuerzos de estiramiento bajo condiciones de velocidad y temperatura especificada.
Punto de	AASHTO T 53	La temperatura determinada como de

Reblandecimiento	ASTM D 36	Reblandecimiento, representa aquella a la cual un cemento asfáltico alcanzará un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida de consistencia del mismo. El punto de reblandecimiento es una prueba de resistencia a la deformación del cemento asfáltico y además es también una prueba de la viscosidad.
Ensayo de flotación	AASHTO T 50 ASTM D 139	Esta prueba caracteriza el comportamiento al flujo o consistencia de ciertos materiales bituminosos, que por su bajo grado de dureza no pueden ser ensayados utilizando el método de penetración. Este ensayo es utilizado para medir la consistencia del residuo de destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento.
Solubilidad en Tricloroetileno	AASHTO T 44 ASTM D 2042	Este ensayo indica la porción de constituyentes cementantes activos en el asfalto ensayado es decir se utiliza para medir la pureza del asfalto. En esta prueba las sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos, se consideran impurezas.
Peso específico	AASHTO T 228 AASHTO T 85 AASHTO T 84	El peso específico de un cemento asfáltico no se indica normalmente en las especificaciones de la obra pero existen dos razones por las cuales se debe conocer su valor y son: Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura – volumen. Es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado. Se determina normalmente por el método del picnómetro.
Endurecimiento y envejecimiento	AASHTO T 51 ASTM D 113	Tiene por propósito exponer una o varias muestras a condiciones similares ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente.

TABLA II-7 VALORES ACEPTABLES PARA ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS.

<b>Ensayo de laboratorio para AGREGADOS</b>	<b>Norma</b>	<b>Rango de Valores Aceptables en calidad</b>
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	Según Proyectos

Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C 131	40% máximo
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	12% máximo
Equivalente de Arena (finos)	AASHTO T 176 ASTM D 2419	0.45 mínimo - 1.0% máximo
Caras fracturadas, Cubicidad de Partículas	ASTM D 692	75% mínimo
Índice de durabilidad, Peso Unitario y Vacío	AASHTO T 210 T 19 ASTM C 29M	35% mínimo (gruesos) 45% mínimo (finos)

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales Nº. 22 (MS-22).

Todas estas pruebas se desarrollaron para poderse realizarse también en campo, siempre y cuando se cuente con un laboratorio en el campo de trabajo, que esté lo suficientemente capacitado para dar cobertura a todo el proceso constructivo (Ver FIGURAS II-14, II-15 Y II-16). Las pruebas en campo son vitales, pues son las que monitorean continuamente todo lo que se está haciendo en la práctica, a la hora de ejecutar un proyecto. Un Laboratorio de Campo para el Control de Calidad, es la instancia encargada de realizar los ensayos de laboratorio y de campo necesarios, con el propósito de proporcionar resultados que sirvan de apoyo a la Residencia del Proyecto, durante la evaluación de la calidad de los materiales y de las obras parciales o totales ejecutadas con los mismos. (4,19, 25)

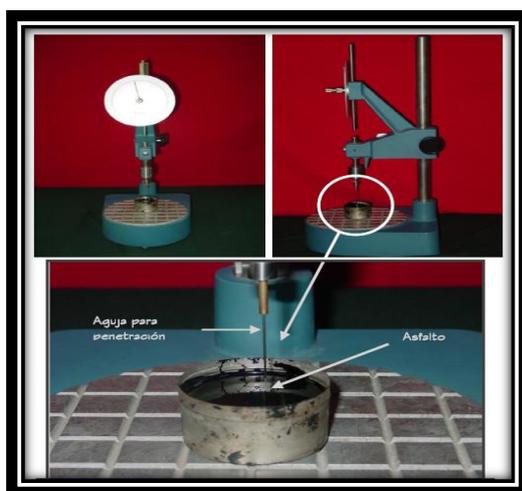


FIGURA II-14 EQUIPO PARA PRUEBA DE PENETRACIÓN AL ASFALTO.

*El asfalto se coloca en un baño de agua con temperatura controlada. La aguja se coloca sobre la superficie de la muestra por 5 seg.*



*FIGURA II-15 EQUIPO PARA PRUEBA DE PUNTO DE LLAMA Y GRAVEDAD TEÓRICA MÁXIMA.*

*Estos aparatos se utilizan para calcular propiedades de los agregados.*



*FIGURA II-16 ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN, COPA CLEVELAND.*

Según Chimán, A. (2016) en sus publicaciones de investigación, que puedan utilizarse para realizarse en la mezcla, le da una importancia relevante a este procedimiento, en cuanto a los resultados que arrojen los diferentes elementos a analizar, darán por manifiesto las medidas correctivas que han de someterse en la ejecución de la obra, siendo esenciales para obtener buenos resultados siempre y cuando se cumplan con las especificaciones técnicas de procedimiento laboral, siendo el Ingeniero Residente el responsable de que la obra tenga una uniformidad en todo sus componentes de trabajo, por lo que los valores aceptables para ensayos de laboratorio de los agregados sean considerados.<sup>(24)</sup>

## **d.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

Para Fajardo, C. (2014) ya que una mezcla asfáltica está formada por dos elementos básicos que son: los agregados y el cemento asfáltico, para desarrollar y entender fácilmente el tema del Control de Calidad, se procede a retomar conceptos fundamentales de cada uno de esos elementos de una manera desglosada.

### d.2.1. ASFALTOS

Las propiedades físicas del asfalto de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

- Durabilidad.
- Adhesión y Cohesión.
- Susceptibilidad a la temperatura.
- Envejecimiento y Endurecimiento.

a) **DURABILIDAD.** - Huamán, L. (2001) realiza una descripción sobre la durabilidad del asfalto manifestando que ésta en función del diseño de mezcla, las características del agregado, y de las condiciones a las cuales está sometido como exposición a procesos normales de degradación y envejecimiento por las condiciones climáticas. Existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto.<sup>(12)</sup>

- Prueba de Película Delgada en Horno (TFO).
- Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO).
- Ambas incluyen el calentamiento de películas delgadas de asfalto.

b) **ADHESION Y COHESION.** - Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla para pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado. El ensayo relacionado con esta propiedad es la ductilidad, aunque este no mide directamente la adhesión o la cohesión, más bien, examina una propiedad del asfalto considerada por algunos como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo "califica - no califica" y solamente indica si la muestra es, o no, lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos los que se mencionaran más adelante.

c) **SUSCEPTIBILIDAD A LA TEMPERATURA.** - Normas: AASHTO T- 201, ASTM D- 2170, AASHTO T-49 Y ASTM D-5 Los asfaltos tienen las características de volverse más duros a medida que disminuye su temperatura, y más blandos si su temperatura aumenta. Esta característica se denomina: susceptibilidad a la temperatura la cual es una propiedad muy valiosa para los asfaltos; por eso se denominan Termoplásticos. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia. La susceptibilidad a la temperatura, se mide a través de medir la Viscosidad (el ensayo a la Penetración) y esta medición varía en relación a la temperatura del asfalto y del tipo de asfalto: así un asfalto si es duro se dice que es más viscoso y por el contrario si es más blando se dice que el asfalto es menos viscoso. Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues ella indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera.<sup>(7,20)</sup>

### **d.3. ENDURECIMIENTO Y ENVEJECIMIENTO**

Según Arbeláez, P. (2015) el “endurecimiento” y “envejecimiento” son procesos que normalmente se dan en la construcción de los asfaltos, el endurecimiento es causado por la oxidación a altas temperaturas y el endurecimiento ocurre en la etapa de mezclado. Siendo necesario que en este proceso se efectúen pruebas de viscosidad, penetración, punto de inflamación, endurecimiento, solubilidad y peso específico, entre otras.<sup>(26)</sup>

Entre las principales pruebas para determinar las propiedades físicas de los cementos asfálticos tenemos (Ver TABLA II-6) (Ver TABLA II-8).

- **PEÑO ESPECÍFICO.** Este ensayo se efectúa para ubicar las correlaciones necesarias de peso a volumen, varía con la temperatura, o al adicionarle algún otro material; regularmente el asfalto presenta una densidad mayor que el agua.
- **SOLUBILIDAD TRICLOROETHILENO.** Este método sirve para detectar impurezas o materiales extraños que presente el asfalto, o bien algún elemento que no sea soluble al asfalto.
- **PUNTO DE INFLAMACIÓN.** Es una prueba de seguridad que se realiza para conocer a que temperatura provoca flama el material asfáltico.
- **PUNTO DE REBLANDECIMIENTO.** Por el método del anillo y la esfera, nos proporciona una medida a la resistencia del material al cambio de sus propiedades de acuerdo a su temperatura.
- **PENETRACIÓN A 25° C.** Con esta prueba se determina la dureza que presentan los diferentes tipos de asfalto; de acuerdo a la dureza nos indica de qué tipo de cemento se trata.
- **DUCTILIDAD A 25° C.** Mide al alargamiento que presenta el asfalto sin romperse, la longitud del hilo de material se mide cuando se corta en cm., este ensayo además de indicarnos el tipo de asfalto nos da la edad del mismo; ya que si se rompe a valores menores a los establecidos nos indica que es un asfalto viejo y que ha perdido sus características, por consecuencia puede provocar grietas en la carpeta "cemento asfáltico crackeado" (viejo.)
- **VISCOSIDAD SAYBOL FUROL.** Nos ayuda a conocer la temperatura en la cual el asfalto es de fácil manejo. En esta prueba se mide el tiempo que tardan en pasar 80 cm<sup>3</sup> de asfalto por un orificio de diámetro aproximadamente igual a 1 mm, este ensayo se efectúa a temperaturas que van de los 60 a los 135° C dependiendo del tipo de asfalto de que se trate.
- **VISCOSIDAD ABSOLUTA A 60° C.** Con esta prueba se clasifica el cemento. Consiste en hacer pasar hacia arriba el asfalto dentro de un tubo capilar bajo condiciones controladas de vacío y temperatura, el resultado se calcula de acuerdo al tiempo que tarda en pasar el asfalto de un punto a otro dentro del tubo, este tiempo se multiplica por una constante del equipo usado y la unidad que se maneja es el "poise" que es una fuerza de 1g/cm<sup>2</sup> y de acuerdo con la viscosidad que presente se clasifican los asfaltos.

- **VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 135° C.** Con esta prueba se mide el tiempo en que un volumen de asfalto fluye a través de un viscosímetro capilar, de un orificio determinado. El tiempo se multiplica por un factor de calibración del viscosímetro, la unidad que emplea es el "centistokes". Esta unidad se basa en las relaciones de densidad de un líquido a la temperatura de prueba representada en 1g/cm<sup>3</sup>.
- **PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO.** También llamada prueba de película delgada; esta prueba estima el endurecimiento que sufren los asfaltos después de calentarse a temperaturas extremas (163° C) además nos determina los cambios que sufre el material durante el transporte, almacenamiento, calentamiento, elaboración y tendido de mezcla. Se efectúa en películas de pequeño espesor que se someten a los efectos del calor y el aire, con ellos se evalúa el endurecimiento que presenta y la pérdida de sus propiedades; después de efectuado este ensaye se efectúan pruebas de viscosidad, ductilidad, penetración y pérdida de peso. <sup>(8,20,27)</sup>

TABLA II-8 REQUISITOS PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADOS POR VISCOSIDAD A 60 °C (CLASIFICACIÓN BASADA EN ASFALTO ORIGINAL).

PRUEBA	Grado de Viscosidad					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60° C, poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viscosidad, 135 °C, Cs mínimo	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25°C, 100g. 5s-mín.	220	140	80	60	50	40
Punto de llama, Cleveland, °C -mín.	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)	232(450)
Solubilidad en Tricloroetileno, % mín.	99	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO:						
Pérdida por calentamiento,% máximo (opcional)1		1	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60 °C, poises máximo	100	200	4000	8000	12000	16000
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm.-mínimo	1002	100	75	50	40	25
Prueba de mancha (cuando y cómo se especifique)3						
Solvente normal de nafta	Negativa para todos los grados					
Solvente de nafta-xileno, % xileno	Negativa para todos los grados					
Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativa para todos los grados					

(1) El uso del requisito de pérdida por calentamiento es opcional.

(2) Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6°C tiene un valor/mínimo de 100.

(3) (3) El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente usado cuando se va a utilizar la prueba, en el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el % de xileno a ser usado.

Fuente Tabla 2.3: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22 (MS-22) Figura 2.3, Sección 2.3.B.1

En la clasificación de acuerdo a su viscosidad después de envejecido, se identifican las características de viscosidad después que se ha colocado la carpeta del pavimento. Para poder simular el envejecimiento, el asfalto debe ser ensayado en el Laboratorio utilizando un patrón de envejecimiento. La unidad normal es también el Poise, ver TABLA II-9.<sup>(24)</sup>

TABLA II-9 REQUISITOS PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADOS POR VISCOSIDAD A 60 ° C (AASHTO M 226).

PRUEBAS SEGÚN AASHTO T -240	Grado de Viscosidad				
	AR2-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viscosidad, 60° C, poises	1000±250	2000±500	4000±1000	8000±2000	16000±4000
Viscosidad, 135 °C, Cs mínimo	140	200	275	400	550
Penetración, 25°C, 100g. 5smín.	65	40	25	20	20
% de Penetración original, 25°C-mín.	....	40	45	50	52
Ductilidad, 25°C, 5 cm/ min, cm-mín.	1002	1002	75	50	52
Pruebas sobre el asfalto original:					
Punto de llama. Cleveland °C mínimo	205(400)	219(425)	227(440)	232(450)	238(460)
Solubilidad en Tricloroetileno % mín.	99	99	99	99	99

(1) La abreviación AR corresponde a "Residuo envejecido"

(2) Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6°C tiene un valor/mínimo de 100.

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22 (MS-22), Instituto del Asfalto. Figura 2.4, Sección 2.3.B.1.

El tercer método usado para clasificar los asfaltos es el de penetración, su unidad es la décima de milímetro (Ver FIGURA II-17). El que se ve reflejado en la TABLA II-10<sup>(20)</sup>

TABLA II-10 REQUISITOS PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60 °C (AASHTO M 20).

Prueba	Grado de Penetración									
	Mástic para sellado de juntas de concreto		Concreto asfáltico				Tratamientos superficiales			
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.
Penetración a 25°C (77 °F) 100 g. 5 s	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Llama. Ensayo Cleveland °C	450	....	450	....	450	....	425	....	350	....
Ductilidad a 25°C (77 °F) 5cm/min.Cm	100	....	100	....	100	....	100	....	100	....
Solubilidad en Tricloroetileno %	99	....	99	....	99	....	99	....	99	....
Perdida por calentamiento %	...	0.8	...	0.8	...	1.0	...	1.3	...	1.5
Penetración del residuo, % del original	58	...	54	...	50	...	46	...	46	...
Ductilidad del residuo a 25°C. 5 cm/min. Cm	....	....	50	...	75	...	100	...	100	...
Prueba de mancha (cuándo y cómo se especifique)										
Solvente normal de nafta	Negativa para todos los grados									
Solvente de nafta-xileno, % xileno	Negativa para todos los grados									
Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativa para todos los grados									

El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente usado cuando se va a utilizar la prueba, en el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el % de xileno a ser usado.

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, Serie de Manuales N<sup>o</sup>. 22 (MS-22), Instituto del Asfalto. Figura 2.6, Sección 2.3.B.1.

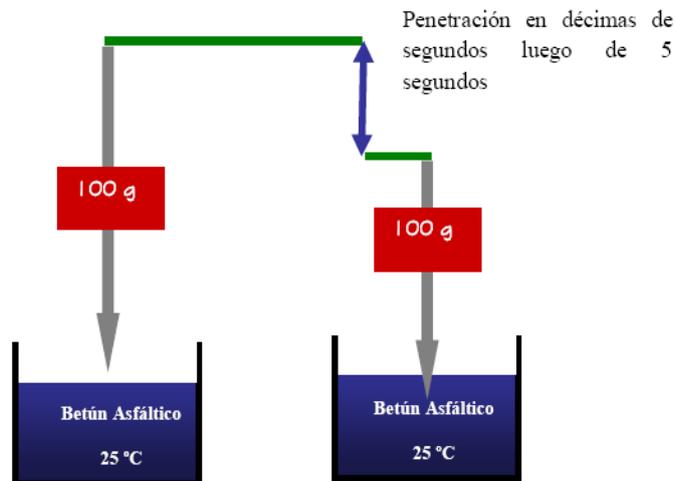


FIGURA II-17 ENSAYO DE PENETRACIÓN.  
Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N<sup>o</sup> 22 (MS-22), Instituto del Asfalto. Figura 2.5, Sección 2.3.B.1.

## e. MEZCLA ASFÁLTICA

### e.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

#### e.1.1. DENSIDAD

Carrizales, A. manifiesta que los ideales dentro de las especificaciones técnicas de la construcción de pavimentos es que la densidad del pavimento este porcentualmente asociada con el porcentaje de la prueba de densidad en el laboratorio, en razón que hay una reciprocidad entre la mezcla asfáltica compactada y el peso unitario de la muestra.<sup>(25)</sup>

### e.1.2. **VACÍOS DE AIRE.**

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y bacheos es del 3 al 5 %, dependiendo del diseño específico. La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta es la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa. El rango de vacíos dado por el criterio de diseño, está basado en numerosas investigaciones que muestran que el desempeño de la mezcla depende fundamentalmente del contenido de vacíos tras 2 a 3 años de servicio:

- a) Vacíos en la Mezcla inferiores al 3% tienden a producir inestabilidad y exudación.
- b) Vacíos en la Mezcla mayores al 5% producen mezclas permeables al aire y agua, por lo que son propensas a sufrir envejecimiento prematuro y posterior desintegración por oxidación prematura.

Las especificaciones en las obras generalmente requieren una densidad que permita acomodar el menor número posible de vacíos; menos del 8%. Existe consenso en que niveles mayores al 8% dan lugar a mezclas muy permeables al aire y agua, resultando en oxidación prematura, desprendimiento y desintegración.<sup>(10,23)</sup>

### e.1.3. **VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VAM)**

Para Maila, P. (2013) el éxito de la funcionalidad de la mezcla compactada está en razón del ocupamiento de los espacios de aire por las partículas de la mezcla asfáltica, habiendo una regla de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto más durabilidad tendrá la mezcla, existiendo valores máximos y mínimos de "VMA", que son necesarios tomar en cuenta en los procesos constructivos de vías.<sup>(24)</sup> El rango de valores entre los que oscila se muestra en la TABLA II-11.

TABLA II-11 VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (REQUISITOS DE VMA).

Tamaño máximo Nominal <sup>2</sup> Porcentaje		VMA mínimo, por ciento <sup>3</sup> Vacíos de diseño, por ciento		
mm	In	3.0	4.0	5.0
1.18	Nº 16	21.5	22.5	23.5
2.36	Nº 8	19	20	21
4.75	Nº 4	16	17	18
9.5	3/8	14	15	16
12.5	½	13	14	15
19	¾	12	13	14
25	1.0	11	12	13
37.5	1.5	10	11	12
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10	11

*1 Especificación Norma para tamaños de tamices usados en pruebas ASTM E 11 (AASHTO M 92)*  
*2 El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más de 10% del material.*  
*3 Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.*

Fuente: Serie de Manuales Nº 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), Figura 3.2, Pág. 59

**a) CONTENIDO DE ASFALTO PB.-** Para Bravo, P. (2003) el Método de Marshall o de Hveem, son los métodos frecuentemente empleados para determinar el contenido de asfalto de una mezcla en particular, estando en relación directa con las características del agregado (granulometría y capacidad de absorción). Los técnicos hablan de 2 tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido:

- Contenido total de asfalto.
- Contenido efectivo de asfalto.
- El Contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser agregada a la mezcla para producir las cualidades deseadas.
- El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. Este se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.<sup>(20,29)</sup>

## **e.2. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA**

Según Muner, M. (2010) el procedimiento constructivo de mezcla asfáltica en planta es sencillo, siempre y cuando se cumplan los pasos preestablecidos, teniendo en cuenta llegar a

temperaturas óptimas de 160 a 175° C. en el cilindro de calentamiento de material pétreo, para luego pasar a la unidad de mezclado con diferentes cribas donde se le provee de cemento asfáltico a una temperatura de 130 a 150°C., vaciándose a los vehículos de carga a una temperatura de 120 a 130°C.<sup>(12,21)</sup>

### **e.3. PROPIEDADES DESEADAS EN LAS MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

Para Pereda, R. (2015) las buenas Mezclas Asfálticas en Caliente, son aquellas que se diseñan, elaboran y colocan, cuidando que se adquieran propiedades que garanticen la obtención de pavimentos y Mantenimientos funcionales y durables. Estas propiedades son:

- a) **ESTABILIDAD.** - Es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito. Una carpeta de pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo las cargas repetidas del tráfico. La estabilidad depende de la fricción y la cohesión interna en la mezcla.
- b) **DURABILIDAD.** - Es la habilidad de una carpeta de asfalto, para resistir factores como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y la separación de las películas de asfalto. Esta propiedad se mejora de tres formas:
  - Usando la mayor cantidad posible de asfalto.
  - Usando una gradación densa de agregado resistente a la separación.
  - Diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.
- c) **IMPERMEABILIDAD.** - Es la resistencia al paso del aire y agua hacia el interior del pavimento, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada. Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.
- d) **TRABAJABILIDAD.** - Está descrita por la facilidad con la que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada.

- e) **FLEXIBILIDAD.** - Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la sub-rasante.
- f) **RESISTENCIA A LA FATIGA.** - Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se conoce por medio de los estudios realizados a diferentes carpetas asfálticas, que los vacíos y la viscosidad del asfalto, tienen un efecto considerable en la resistencia a la fatiga.
- g) **RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.** - Es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con un tamaño máximo de 9.5 mm (3/8") a 12.5 mm (1/2"). La TABLA II-12. identifica algunos problemas que presenta la carpeta del pavimento cuando no se cumplen las propiedades básicas para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.<sup>(29)</sup>

TABLA II-12 CAUSAS Y EFECTOS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA MANTENIMIENTOS.

<b>BAJA ESTABILIDAD</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas superficies trituradas	Ahuellamiento y Canalización

<b>POCA DURABILIDAD</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua (hidrofílicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.
<b>MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad.
<b>MALA TRABAJABILIDAD</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable

Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable
<b>MALA RESISTENCIA A LA FATIGA</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Bajo contenido de asfalto Agrietamiento por fatiga	Vacíos altos de diseño
Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga	Falta de compactación
Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga	Espesor inadecuado de pavimento Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga
<b>POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

*Fuente: Serie de Manuales Nº 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), Figuras: 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6, Páginas: 61, 62, 63 y 64.*

#### **e.4. CRITERIOS A CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS**

- El espesor de la película de asfalto alrededor del agregado, tiene una influencia determinante en la estabilidad y durabilidad.
- Mientras más delgada es dicha película, menor será la estabilidad. A medida que esta película se engruesa el asfalto tiende a cohesionar el agregado, pasando por un óptimo y luego hace un efecto lubricador.
- La cohesión entre pétreos, varía con el tiempo al perder el asfalto su poder ligante y flexibilidad al oxidarse.
- El aporte del material pétreo a la estabilidad, lo efectúa a través de su fricción interna y ésta a su vez, es función del tamaño del agregado y de la rugosidad de sus caras.
- La falta de estabilidad proporcionada por los agregados, puede ser suplida en parte, usando un asfalto de menor penetración.
- En el diseño además debe considerarse las características de impermeabilidad y trabajabilidad.

El diseño debe encontrar el mejor balance entre estabilidad y durabilidad, porque el objetivo de esto, es obtener la mezcla más económica. Esquemáticamente se observa que para obtener una mezcla final con las propiedades y calidad esperada, se tiene que supervisar el cumplimiento de las propiedades básicas de todos los materiales que conformarán la mezcla (FIGURA II-18) <sup>(5,18)</sup>

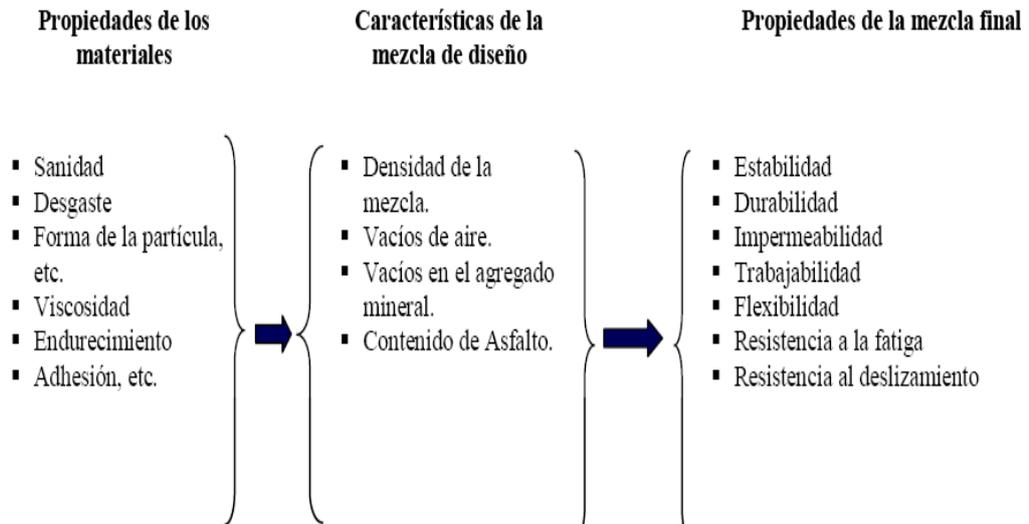


FIGURA II-18 RELACIONES DE DEPENDENCIA.

## e.5. TIPOS DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA MANTENIMIENTOS

### e.5.1. TIPOS DE MEZCLA ASFÁLTICA SEGÚN DISTINTAS VARIABLES.

Bravo, P. (2003) lo define como mezcla el material heterogéneo, obtenido por la unión íntima de agregados, filler y ligante hidrocarbonado, quedando una masa con mayor o menor contenido de aire. Las Mezclas Asfálticas en Caliente, se clasifican de acuerdo a diferentes criterios. A continuación, se muestra a manera de información general las diferentes clasificaciones:

- **SEGÚN LA GRANULOMETRÍA:**
  - a) Mezclas de gradación fina.
  - b) Mezclas de gradación densa.
  - c) Mezclas de gradación gruesa.
  - d) Mezclas de gradación abierta.
- **SEGÚN EL PORCENTAJE DE HUECOS EN LA MEZCLA:**
  - a) Mezclas abiertas: huecos mayores al 5%.

- b) Mezclas cerradas: huecos menores al 5%.
- **SEGÚN EL MÉTODO CONSTRUCTIVO:**
  - a) Mezclas en el lugar o mezclas en frío.
  - b) Mezclas en planta.
- **SEGÚN LA TEMPERATURA DE COLOCACIÓN:**
  - a) Mezclas en Caliente.
  - b) Mezclas en Frío. <sup>(16)</sup>

#### **e.5.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

Según Wulf, M. (2008) consiste en mezclar el agregado pétreo y el cemento asfáltico a alta temperatura (135 a 165 °C), son las de mayor estabilidad de todas las mezclas asfálticas. Los materiales que contiene son:

- **AGREGADOS.** - Debe ser grava o combinaciones de grava sin triturar y arena, procedente de rocas duras y resistentes, no debe contener arcilla en terrones ni como película adherida a los granos; y debe estar libre de todo material orgánico. El agregado se clasifica en: grueso, fino y polvo mineral.
- **EL AGREGADO GRUESO.** - Es la fracción del agregado que queda retenida en la malla N° 8 y no debe tener más de 5%, de su peso, de partículas planas y achatadas, el porcentaje de desgaste (Ensayo de los Ángeles), no debe ser mayor de 50%.
- **EL AGREGADO FINO.** - Es la fracción que pasa la malla N° 8 y se retiene en la N° 200. Debe estar constituido por arena o residuos de grava, en forma de granos limpios y duros. En esta fracción también suele incluirse el Relleno Mineral, cuyas partículas pasan el tamiz N°30.

El polvo mineral es la fracción del agregado que pasa la malla N° 200. *El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente es el pavimento asfáltico de mejor calidad* y se compone de una mezcla de agregados gradados y asfalto, realizada a una temperatura aproximada de 150 °C colocada y compactada en caliente.

Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de calentar y secar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la

cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los camiones transportadores, éstos a su vez, la colocan en el lugar a realizar el tipo de mantenimiento, después de lo cual se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva alta. Para la construcción de este tipo de pavimento se usan cementos asfálticos de penetración 60-70 (AC-20), y 85-100 (AC-10).<sup>(13)</sup>

#### **e.5.2. MEZCLAS ASFÁLTICA EN FRÍO**

Según Maila, P. (2013) las mezclas asfálticas en frío se idearon para una aplicación urbana, por sus características físico – químicas se adecúan para una pavimentación urbana y su respectivo mantenimiento de parchado que están sometidas a un bajo volumen ligero de tránsito preferentemente de automóviles, utilizándose el asfalto líquido como materia prima, requiriendo temperaturas relativamente bajas para obtener la viscosidad necesaria de mezclado. Por su propiedad portante de dosificar agregados gruesos, finos, “filler”, emulsión asfáltica y agua.

Se recomienda su puesta en obra a temperaturas no inferiores a los 20°C ni superiores a los 40 °C..

### **f. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO MARSHALL**

#### **f.1. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL**

Bravo, P. (2003) en sus manuales de investigación propone que para la selección de las muestras de material se debe tener en cuenta ciertas propiedades como: estabilidad, durabilidad, trabajabilidad y resistencia al deslizamiento, entre otras; además de elegir un método de diseño que sea compatible el agregado con el asfalto, teniendo siempre en cuenta la relación existente de viscosidad vs. Temperatura del cemento asfáltico.<sup>(29)</sup>

- Secar el agregado: hasta obtener un peso constante a una temperatura de 110 °C.
- Determinar peso específico: es determinado al comparar el peso de un 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 del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). 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 de agregado, asfalto y vacíos que van a usarse en el método de diseño.

- Análisis granulométrico por lavado: mediante el cual se identifican las proporciones de partículas diferente en las muestras de agregado (Ver Norma AASHTO T- 11).

## **f.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE MEZCLA**

Tomando en cuenta el criterio del diseñador, las clasificaciones de la TABLA II-12.

## **f.3. EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS**

Determinar por medio de ensayos granulométricos, si los tamaños de agregados están dentro de los rangos teóricos, propios de cada tipo de granulometría, de acuerdo a las gráficas con las curvas de graduación.

## **f.4. PROPORCIONAMIENTO DE AGREGADOS Y ASFALTOS**

Se mezclan los agregados en sus diferentes proporciones con los distintos contenidos de asfalto que se evaluarán.

## **f.5. PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE ENSAYO**

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 contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla.

Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación (FIGURA II-19). El número de golpes del martillo (35, 50 o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada (TABLA II-13). Ambas caras de cada briketa reciben el mismo número de golpes. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.<sup>(10,22)</sup>

## **f.6. ENSAYOS MARSHALL**

Para Ramírez, J. (2011) existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall, estos son: Determinación del peso

específico total, Medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y Análisis de la densidad y el contenido de vacíos.

#### **f.7. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO TOTAL.**

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. El peso específico total se determina usando el procedimiento descrito en la norma AASHTO T 166.

#### **f.8. ENSAYOS DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA. –**

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla (FIGURA II-20).<sup>(1)</sup>



FIGURA II-19 EQUIPO COMPACTADOR Y MUESTRA EN PROCESO DE COMPACTACIÓN.

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 fácilmente bajo las cargas del tránsito (TABLA II-12).<sup>(13)</sup>

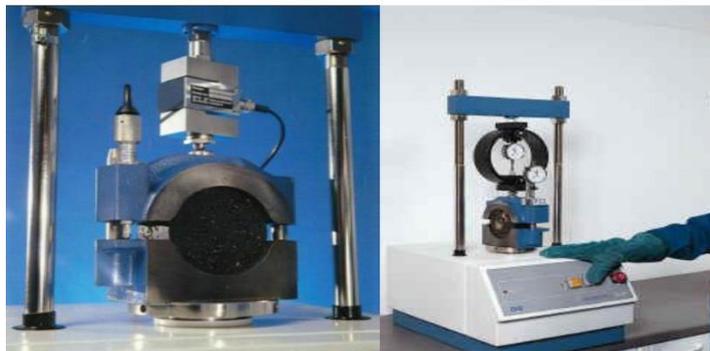


FIGURA II-20 PROBETA MARSHALL Y PEDESTAL DE COMPACTACIÓN.

## **f.9. ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS**

El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada. 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.

### **f.9.1. ANÁLISIS DE VACÍOS**

Se calcula 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 en agua. La TABLA II-13 proporciona valores límite de porcentaje de vacíos según intensidad de tránsito.

### **f.9.2. ANÁLISIS DE PESO UNITARIO**

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por la densidad del agua 1000 kg/m<sup>3</sup> (62.4 lb/ft<sup>3</sup>).

### **f.9.3. ANÁLISIS DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)**

El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen del agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada (TABLA II-11).

### **f.9.4. ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)**

El VFA, es el porcentaje de vacíos ínter granulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje. La TABLA II-13 proporciona valores límites de VFA en función de la intensidad de tránsito para el cual se diseñará la carpeta.<sup>(21,27)</sup>

TABLA II-13 CRITERIOS PARA EL DISEÑO MARSHALL.

CRITERIOS PARA EL DISEÑO MARSHALL						
Criterios para Mezcla del Método Marshall	Tránsito liviano Carpeta y Base		Tránsito Mediano Carpeta y Base		Tránsito Pesado Carpeta y Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactación, número de golpes en cada cara de la Probeta	35		50		75	
Estabilidad, N	3336		5338		8006	
(Lb.)	(750)		(1200)		(1800)	
Fluencia, 0.25 mm (0.01 pulg.)	8	18	8	16	8	14
Porcentajes de Vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentajes de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	Ver TABLA II-11					
Porcentajes de Vacíos llenos de Asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

Fuente: Serie de Manuales Nº 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), Figuras 3.19 Pág. 82

El MTMP-Vías (2016) en su Manual Técnico da sugerencias de carácter obligatorio, es decir se debe tener en cuenta dos aspectos de sumo cuidado que es: realizar el análisis de vacíos y el ensayo de fluencia y estabilidad de las probetas, y en forma paralela se deberán cumplir las normatividades en la evaluación de las especificaciones técnicas, granulométricas, densidades reales secas de los agregados / asfalto para aplicarse en los ensayos de análisis huecos de la mezcla.<sup>(6)</sup>:

- **LA ESTABILIDAD DE LA PROBETA DE ENSAYO:** es la carga máxima en newton que ésta alcanza a 60 °C.
- **LA FLUENCIA:** es la deformación, en décimas de milímetros, que ocurre desde el instante que se aplica la carga hasta lograr la carga máxima.
-

## f.10. ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO MARSHALL

Para Maila, P. (2013) se procede a trazar los resultados del ensayo en gráficas, para poder analizar las características particulares de cada muestra. Mediante el estudio de las gráficas se puede determinar cual muestra de la serie, cumple mejor los criterios establecidos para el pavimento terminado. Las proporciones de asfalto y agregado en estas muestras se convierten en las proporciones usadas en la mezcla final. Las gráficas que se deben trazar para el diseño son:

- Porcentajes de vacíos.
- Porcentajes de vacíos en el agregado mineral (VMA).
- Porcentajes de vacíos llenos de asfalto (VFA).
- Pesos unitarios (densidades).
- Estabilidad Marshall.
- Fluencia Marshall.

En cada gráfica, los puntos representan los diferentes valores que deben ser conectados mediante líneas para formar curvas suaves. (Ver FIGURAS II-21, II-22 Y II-23).<sup>(22)</sup>

NOTA: Lo más práctico es tomar una serie de cinco muestras.

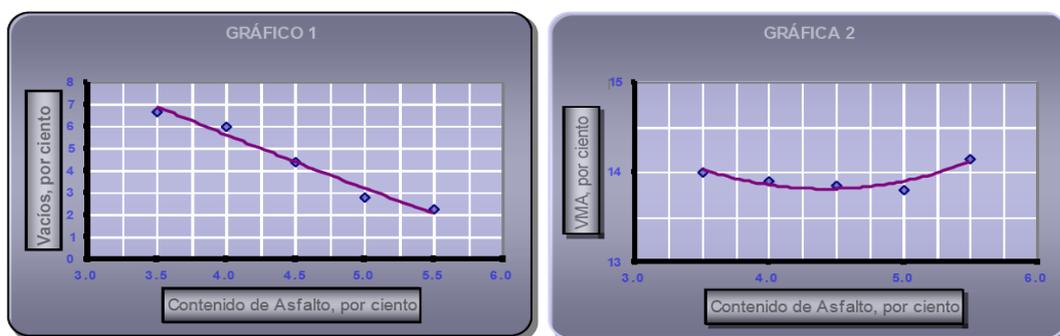


FIGURA II-21 VACÍOS Y VMA, POR CIENTO.

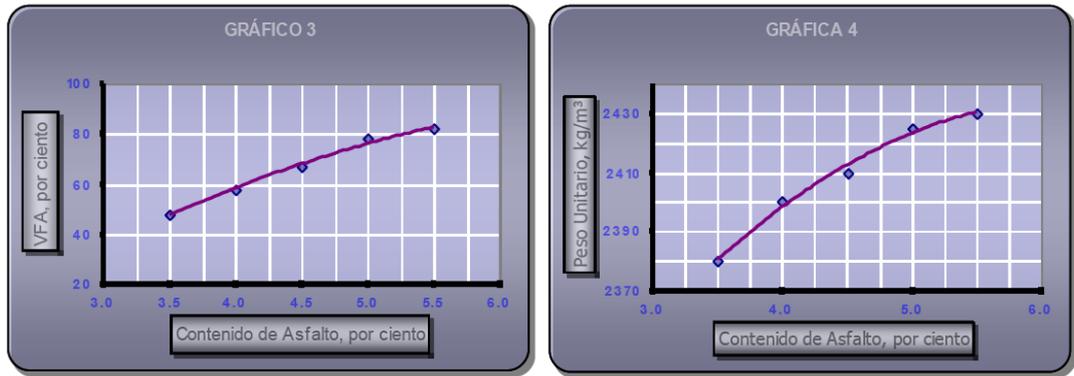


FIGURA II-22 VFA POR CIENTO Y PESO UNITARIO.

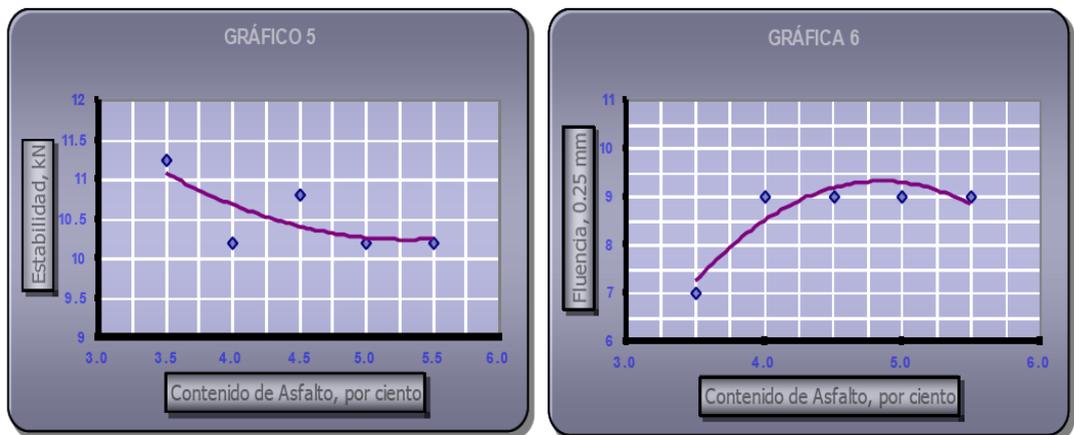


FIGURA II-23 ESTABILIDAD Y FLUENCIA.

## g. ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO

### g.1. COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO

Para Marin, H. (2004) el comportamiento de un pavimento, puede definirse como la capacidad estructural y funcional medible a lo largo de su período de diseño. La capacidad funcional comprende:

- Calidad aceptable de rodadura.
- Adecuada fricción superficial.
- Geometría apropiada para seguridad.
- Aspecto estético.

Según Arenas, L. (2009) sugiere en sus investigaciones en cuanto al comportamiento del pavimento que la capacidad estructural del pavimento estará diseñado para soportar cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales por lo que actualmente se están trabajando con programas de simuladores

numéricos finitos que te pueden dar proyecciones de comportamientos, de tal manera que los pavimentos construidos no pierdan su capacidad funcional, teniendo en cuenta que la resistencia mecánica se transmite por los agregados hacia abajo donde finalmente se disipa la energía mecánica cortante, siendo así existe una conexión elástica entre la capacidad estructural y la capacidad funcional.<sup>(14)</sup>

## **g.2. INDICADORES DE COMPORTAMIENTO.**

Pereda, R. (2015) sostiene que existen indicadores físicos del comportamiento del pavimento que arrojan rangos cuantitativos que pueden interpretarse como una reacción física del pavimento ante situaciones adversas y que se manifiestan generalmente como: fallas visibles, capacidad estructural, fricción superficial, rugosidad vs. serviciabilidad, por lo que es necesario devolver a la vía sus condiciones originales mediante un mantenimiento vial. Antes de colocar ésta nueva carpeta, la estructura del pavimento debe presentar algunas condiciones estructurales tales como:

### **g.2.1. TERRENO DE FUNDACIÓN:**

De su capacidad de soporte depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento y en consecuencia el espesor de la carpeta asfáltica.

### **g.2.2. SUB – BASE:**

Esta capa al igual que el terreno de fundación, no debe presentar problemas mayores y también debe seguir cumpliendo con sus funciones de:

- Servir de capa de drenaje al pavimento.
- Controlar o eliminar en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de sub-rasante.
- Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de otras fuentes.

### **g.2.3. BASE:**

Deberá conservar la finalidad de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de vehículos y repartirlos uniformemente a las capas inferiores. A esta capa debe aplicársele una prueba de Relación de Carga California (CBR), la cual debe ser superior al 80.

### g.3. CONDICIONES DE LA CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE

#### g.3.1. GENERALIDADES.

Del Águila, P. (2001) el deterioro continuo y permanente de una vía comienza en el momento en que finaliza su construcción. El comportamiento de los pavimentos flexibles durante su vida útil, presenta tres fases básicas que pueden observarse en la TABLA II-14.

TABLA II-14 FASES DE LA VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO.

FASES BÁSICAS	DESCRIPCIÓN
<b>FASE DE CONSOLIDACIÓN</b>	Fase relativamente corta. Las capas del pavimento sufren cierta consolidación, debido a las cargas transmitidas. Depende de la compactación que reciben las diversas capas durante la construcción y no debe ocurrir si ésta ha sido suficiente.
<b>FASE ELÁSTICA:</b>	Corresponde a la vida útil del pavimento. Durante la fase elástica no se presentan fallas generalizadas en el pavimento, salvo deformaciones y fallas locales por defectos de materiales, exceso de humedad, etc. La vida de un pavimento depende de la duración de esta fase.
<b>FASE PLÁSTICA:</b>	Fase final en la vida de la estructura. Las deflexiones debidas al tráfico, provocan tensiones de tracción en los revestimientos asfálticos, por lo que la capa se rompe por fatiga, a partir de lo cual se da el colapso gradual en toda la vía. La rotura por fatiga se inicia con la aparición de grietas longitudinales y la penetración de las aguas superficiales al interior del pavimento lo cual provoca el colapso de la estructura, llegando el pavimento, al final de su vida útil.

El comportamiento típico de los Pavimentos Asfálticos, se representa por medio de la FIGURA II-24; donde puede observarse que a mayor edad de la carpeta o mayor flujo de tráfico al que esté sometido, la flexibilidad de la misma disminuye y su capacidad para soportar las cargas producidas por el tráfico se ve también reducida, a partir de lo cual, el deterioro en el pavimento se va agudizando cada vez más (ver FIGURAS II-25 Y II-26).

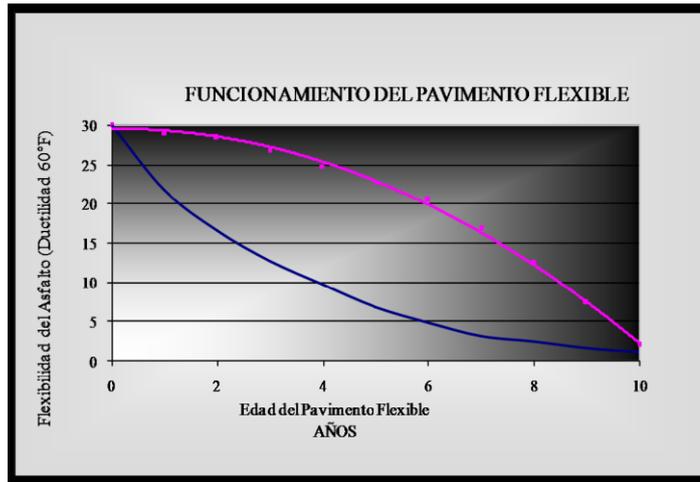


FIGURA II-24 COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE ACUERDO A SU EDAD.

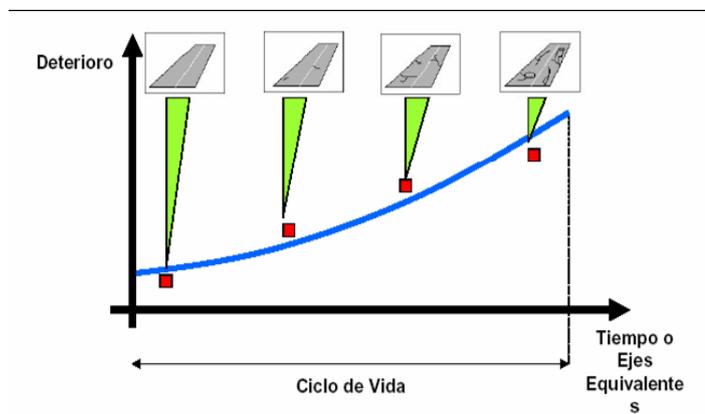


FIGURA II-25 CICLO DE VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

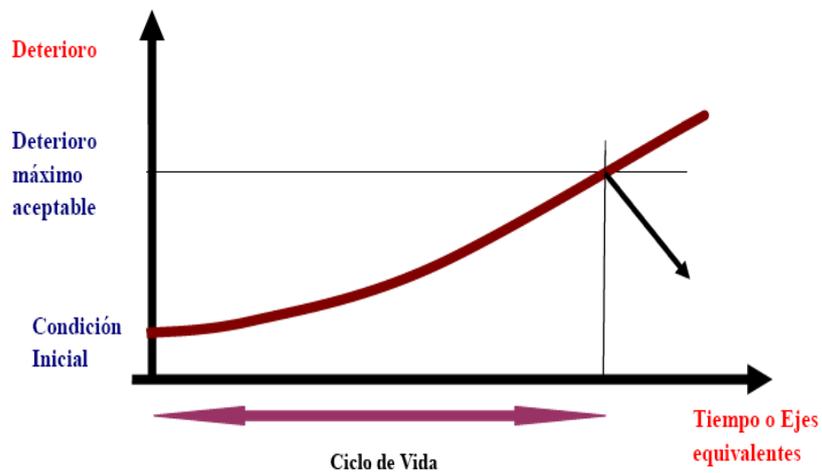


FIGURA II-26 EVOLUCIÓN DEL DETERIORO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

Para Wulf, R. (2008) las condiciones de la carpeta asfáltica existentes están relacionadas directamente con

cuatro factores que son: cargas, temperatura, humedad y tiempo de servicio, por lo que es necesario realizar un estudio de estas condiciones para correlacionarlas con las condiciones funcionales, condiciones estructurales, características del tránsito con la relación del diseño vs. el tránsito esperado.<sup>(20)</sup>

- a) **DAÑOS DEBIDOS AL FACTOR CARGA.** - Las cargas en los pavimentos flexibles pueden generar fatiga y deformaciones permanentes. El Fenómeno de Fatiga se refiere a un proceso progresivo en donde una capa confinada de la estructura del pavimento sobrelleva tantas aplicaciones repetidas de presión que eventualmente se agrietan. La presencia de grietas de fatiga es una indicación de la pérdida de capacidad estructural del pavimento.
- b) **DAÑOS DEBIDOS AL FACTOR TEMPERATURA.**- El factor temperatura origina grietas térmicas, debido a que la mezcla asfáltica se contrae normalmente según diseño, lo cual debe aplicarse según horas ideales para su colocación.
- c) **DAÑOS DEBIDOS AL FACTOR HUMEDAD.**- La humedad causa la pérdida de la resistencia al esfuerzo en la estructura del pavimento, y también origina el desprendimiento de los agregados con el asfalto. La humedad puede ser el factor más influyente en el funcionamiento del pavimento, ya que puede penetrar a la estructura del pavimento a través de grietas y hoyos en la superficie, lateralmente a través del suelo de la subrogante y de la acción de la capilaridad cuando la tabla de agua se encuentra superficial.
- d) **DAÑOS DEBIDOS AL FACTOR EDAD.**- En pavimentos flexibles solo hay un mecanismo relacionado a la edad, esto es, Oxidación, la exposición prolongada de una capa de mezcla asfáltica a rayos ultravioleta del sol, causa oxidación al asfalto, pierde sus aromáticos y llega a ser duro y más susceptible al agrietamiento.<sup>(4,12,21)</sup>

#### g.4. TIPOLOGIA DE DAÑOS

Huamán, N. (2002) considera en sus investigaciones que la tipología de daños en una carretera está supeditada a los diferentes problemas que se presentan en las vías, cada una de éstas están en relación a su función, ubicación y tratamiento recibido, que generalmente se realiza con una inspección ocular de la vía, para ver las condiciones superficiales de la vía, para luego trabajarlas en el laboratorio de mecánica de suelos, y dar solución al problema planteado.

La Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), ha elaborado un documento llamado: Catálogo de Daños en Pavimentos, el cual es una guía práctica de clasificación, evaluación, medición, y tratamiento de daños típicos, convenido por todos los organismos miembros de la SIECA, la que además presenta una descripción detallada de cada uno de los términos utilizados para analizar los deterioros en los pavimentos flexibles (Ver TABLAS II-15 Y II-16).

Daños en termino generales:

TABLA II-15 TIPOLOGÍA DE DAÑOS.

TIPO	DESCRIPCION*
Fractura (Fracture):	Abertura larga de ancho pequeño en el pavimento.
Fisura (Fissure):	Fractura fina, por lo general con un ancho igual o menor a 3 mm.
Grieta (Crack):	Fractura, por lo general con ancho mayor de 3 mm.
Fisura Piel de Cocodrilo (Alligator Cracking):	Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio de 30 mm.
Fisuras en Bloque (Block Cracking):	Fisuras interconectadas, formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm con un área variable de 0.1 a 9.0 m <sup>2</sup> .
Fisura Transversal (Transverse Cracking):	Fracturas de longitud variable que se extienden a través de lo ancho de la superficie del pavimento, formando un

	ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera.
<b>Fisura Longitudinal (Longitudinal Cracking):</b>	Fracturas de longitud variable que se extienden a través de la superficie del pavimento, formando una paralela con el eje de la carretera.
<b>Fisura por Reflexión de Junta (Reflective Cracking):</b>	Fisuras o grietas que se observan en la superficie de sobrecapas que tienden a reproducir las fallas y juntas que se producen en la capa de abajo.
<b>Ahuellamiento (Rutting):</b>	Depresión longitudinal continua a lo largo del rodamiento del tránsito, de longitud mínima de 8.0 m.
<b>Corrimiento (Shoving):</b>	Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañadas por levantamientos de material, formando cordones laterales.
<b>Corrugación (Corrugations):</b>	Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de 1.0 metro entre ellas, a lo largo del pavimento.
<b>Hinchamiento (Bumps):</b>	Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.
<b>Hundimiento (Depression):</b>	Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada.
<b>Bache (Pothole):</b>	Desintegración total de la superficie de rodadura, que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.

<b>Peladura (Stripping):</b>	Desintegración superficial de la capa de la carpeta asfáltica.
<b>Desintegración de Bordes (Edge Distress):</b>	Consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento.
<b>Exudación de Asfalto (Bleeding of Bitumen):</b>	El afloramiento del ligante de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento formando una película continua de bitumen.
<b>Parche (Patch):</b>	Área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, para reparar el pavimento existente.

\*Fuente: Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, Nomenclatura y Definición de Fallas Pág. Nº 5 y 6 de SIECA.

TABLA II-16 DAÑOS Y NIVEL DE DETERIORO DEL PAVIMENTO.

<b>Desgaste de áridos (agregados)</b>	
<b>DESCRIPCION:</b>	
Presencia de agregados (áridos) que presentan una cara plana en la superficie, generalmente embebidos en el ligante (asfalto).	
<b>IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL</b>	
	
<b>EVALUACION:</b>	
Se mide el coeficiente de fricción en forma continua o puntual. Los tramos con coeficiente de fricción menor que uno deben ser atendidos de inmediato.	

<b>FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCIÓN:</b>
Los tramos afectados, si corresponden a una capa de rodadura mayor que 5 cm, se fresan de inmediato. Si corresponden a un tratamiento superficial o microcarpeta, se aplica un nuevo tratamiento, con áridos (agregados) duros.
<b>CAUSAS COMUNES:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso de áridos (agregado) suaves (p. ej. calizas) susceptibles al pulimiento.</li> </ul>

TABLA II-17 PÉRDIDA DE AGREGADOS (CALAVERAS O SURCOS).

<b>Pérdida de agregados (calaveras o surcos)</b>
<p><b>DESCRIPCIÓN:</b> Desprendimiento de agregados pétreos en superficie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ De tratamientos superficiales: Pérdida parcial del agregado dejando expuestas áreas aisladas de la capa de apoyo.</li> <li>▪ De capas asfálticas: Pérdida en la superficie de los agregados de capas asfálticas con espesor mayor que 5 cm.</li> </ul>
<b>IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL</b>

<b>EVALUACIÓN:</b>
<p>Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m, por banda de circulación.</p> <p>LIGERO &lt; 5 % LIGERO &lt; 5 %</p> <p>MEDIO 5% &lt; MEDIO &lt; 30 % 5 % &lt; MEDIO &lt; 10 %</p> <p>FUERTE 30% &lt; FUERTE 10% &lt; FUERTE</p>
<b>FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCIÓN:</b>
<p><b>LIGERO:</b> Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario.</p> <p><b>MEDIO:</b> Nuevo tratamiento superficial en mantenimiento periódico.</p> <p>Reposición del material perdido y tratamiento superficial, en mantenimiento periódico.</p> <p><b>FUERTE:</b> Sobrecapa asfáltica &gt; 5 cm</p>

#### CAUSAS COMUNES:

- Esparcido irregular del ligante (asfalto)
- Ligante inadecuado.
- Agregado pétreo (árido) inadecuado por falta de adherencia (afinidad) en el ligante (asfalto).
- Agregado sucio, con polvo adherido.
- Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del ligante (asfalto).

### 2.2.3. POLÍMEROS

#### a. DEFINICIÓN

Según Ramírez, J. (2011) y Bocco, Z. (2000) conceptualizan a los polímeros como sustancias de elevado peso molecular, conformados por uniones de monómeros y que al unirse entre sí adoptan estructuras de diversa forma, pero lo más importante es que molecularmente no pueden ablandarse por el calentamiento, dando así una conformación física estable al tratamiento térmico y una resistencia al tratamiento mecánico – físico.<sup>(9, 25)</sup>

Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados, se listan a continuación:

- Homopolimeros: que tienen una sola unidad estructural (monómero)
- Copolimeros: tienen varias unidades estructurales. Distintas (EVA, SBS)
- Elastómeros: al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original la cesar la sollicitación. Tiene deformaciones pseudo-plásticas con poca elasticidad.<sup>(6,8,19)</sup>

#### b. CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Para Sancho, M. (2015) manifiesta que existen tres formas de clasificar los polímeros:

- Por su estructura química.
- Por su comportamiento mecánico.
- Por su desempeño mecánico.

##### b.1. CLASIFICACIÓN POR SU ESTRUCTURA QUÍMICA. -

Esta analiza un polímero en cuanto a la estructura del monómero. Existen de cadena carbónica y de cadena heterogénea.

- **POLÍMEROS DE CADENA CARBÓNICA:**

- Poliolefinas.
- Polímeros de tipo dienos.
- Polímeros de tipo estirenicos.
- Polímeros de tipo cloruros.
- Polímeros de tipo fluoruros.
- Polímero de tipo acrílicos.
- Esteres polivinílicos.

- **POLÍMEROS DE CADENA HETEROGÉNEA:**

- Poliésteres.
- Policarbonato.
- Poliamidas.
- Poliuretanos.
- Aminoplásticos.
- Celulósicos.
- Siliconas.

## **b.2. CLASIFICACIÓN POR SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO**

Los polímeros pueden ser clasificados por su comportamiento mecánico en:

- **PLÁSTICOS:** Son materiales poliméricos sólidos a temperatura ambiente. Existen dos tipos:
  - Termoplásticos.
  - Termo-rígidos: A este grupo pertenecen los plastómeros.
- **ELASTÓMERO:** Son deformables a temperatura ambiente, al aplicarle un esfuerzo son comprimibles, pero recobran su forma original al ser retirado este. La flexibilidad de los elastómeros se debe a cadenas flexibles, las cuales se amarran unas con otras entre las principales propiedades de los elastómeros.
- **FIBRAS:** En este grupo se encuentra el nylon, y poliéster.

## **b.3. CLASIFICACIÓN POR SU DESEMPEÑO MECÁNICO. -**

Se basa en cuanto al desempeño mecánico cuando no son utilizados para diferentes funciones. Existen los siguientes tipos:

- Termoplásticos convencionales.

- Termoplásticos especiales.
- Termoplásticos de ingeniería.
- Termoplásticos de ingeniería especiales.<sup>(7,26)</sup>

### **c. PROPIEDADES DE LOS POLIMEROS**

Huamán, N. (2005) en sus publicaciones de Ingeniería hace resaltar las bondades de los polímeros cuando se aplican como elementos aditivados a los pavimentos, brindan características especiales que le confieren a las vías un mejor comportamiento físico debido a que se adaptan a las condiciones existentes de las vías debido a que molecularmente presentan una estructura química que puede ser lineal, ramificada, entrecruzada, entre otras. Por lo que su empleo como aditivo que a la larga va a tener una compensación económica. Que a continuación mencionamos:

#### **c.1. BAJO PESO ESPECÍFICO**

No presentan un peso específico considerable, el peso por unidad es menor a 0.3gr

#### **c.2. PROPIEDADES MECÁNICAS**

El comportamiento mecánico de los polímeros a temperaturas ambiente puede variar desde la característica de un vidrio rígido y quebradizo, hasta la flexibilidad y elasticidad de una goma, las características mecánicas de los polímeros se miden generalmente con ensayos de tracción, compresión, flexión, dureza, impacto, desgarró, etc. La mayor parte de los polímeros tiene un comportamiento reológico tipo visco elástico, lo cual hace que sus propiedades mecánicas dependan en gran medida del tiempo de duración de la carga. Si se aplica un esfuerzo constante, habrá una deformación inicial instantánea y una deformación de fluencia (más lenta). Si mantiene la deformación constante, el esfuerzo necesario para producir dicha deformación disminuirá paulatinamente (relajación de esfuerzos).

### **c.3. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA**

La variación de la temperatura genera cambios en las propiedades de los polímeros, lo que limita su uso en cierto rango. La elevación de temperatura produce un rápido descenso de la resistencia mecánica en los materiales termoplásticos, que comienza antes de su punto de ablandamiento, mientras que la temperatura baja lo hace más frágiles y quebradizos, con la consiguiente disminución de la resistencia a la tracción y al impacto. En los polímeros termoestables las propiedades mecánicas se mantienen en un mayor rango de temperatura, mientras que, en los elastómeros, cuando baja la temperatura se produce primero un aumento de la rigidez y finalmente, por debajo de la temperatura de transición vítrea, pierden su capacidad de deformación y se toman frágiles. Se envejecen a temperaturas elevadas y en presencia de oxígeno, con la consiguiente pérdida de propiedades.

### **c.4. DURABILIDAD**

Se define con la capacidad que tiene todo material para mantener sus propiedades originales a lo largo del tiempo. Las alteraciones de las propiedades de los polímeros se producen por fatiga (aplicación repetida de esfuerzos) o por envejecimiento (acción del medio ambiente), aunque normalmente ambos factores actúan en conjunto. Los agentes que pueden dar lugar a cambios apreciables en las propiedades de los polímeros son los agentes atmosféricos (agua, ozono, oxígeno y humedad), la radiación solar y el calor, los microorganismos, los agentes químicos y la acción del tránsito. Los cambios generados por esos agentes dependerán del tipo de polímero, su composición y estructura química.<sup>(2,16,23)</sup>

## **d. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL POLÍMERO EVA**

### **d.1. ETILENO – VINIL – ACETATO (EVA)**

Según Chimán, A. (2016) afirma que el etilenvinilacetato (más conocido como EVA) es el copolímero de etileno y acetato de vinilo. El porcentaje en peso de acetato de vinilo por lo general varía de 10 a 40%, siendo el resto etileno. Aunque en algunos casos, este porcentaje puede ser un tanto mayor (hasta un 75%), utilizados como suspensiones acuosas. Se trata de un polímero que se acerca a los elastómeros en cuanto a la suavidad y flexibilidad, sin embargo, puede ser procesado igual que los termoplásticos, por lo que este tipo de materiales recibe el nombre de elastómero termoplástico. El material tiene buena claridad y

brillo, propiedades de barrera, resistencia a bajas temperaturas, la resistencia al estrés-cracking, propiedades de adhesivo hot-melt a prueba de agua, y resistencia a la radiación UV. El EVA tiene poco o ningún olor y compite con la goma y productos vinílicos en muchas aplicaciones eléctricas.<sup>(18,25)</sup>

## d.2. ESTRUCTURA QUÍMICA Y SÍNTESIS

Sancho, M. (2015) sugiere que el copolimero etileno-vinilacetato es un polímero de adición formado por unidades representativas de etileno y acetato de vinilo:

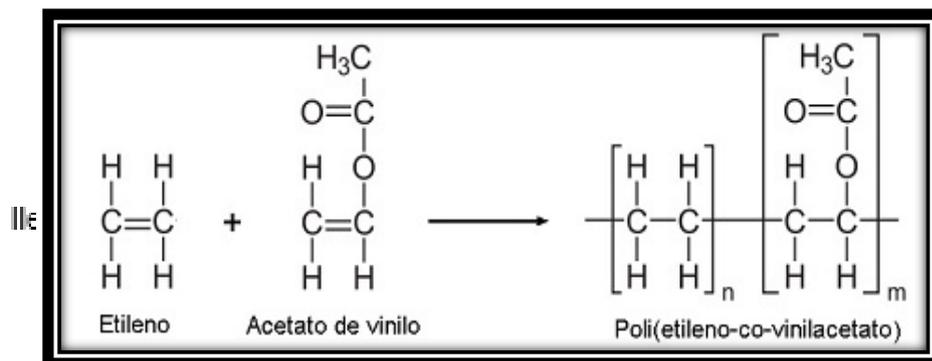


FIGURA II-27 SINTESIS DEL EVA

Fuente: "Tecnología de los plásticos". 21 de junio de 2014, blog tecnología de los plásticos, volumen 1.

Se  
 at  
 de  
 lo  
 ap  
 ol  
 vi  
 ce  
 lo  
 pu  
 pr  
 al  
 (k

Del Águila, O. (2001) sugiere que en el proceso de polimerización en solución para la producción de EVA se logra obtener productos libres de gel debido, por un lado, a una buena solubilidad de los productos a lo largo del proceso de polimerización y, por otro lado, una transferencia baja constante del disolvente a la cadena de polímero en crecimiento. En consecuencia, terc-butanol o mezclas de tert-butanol, metanol e hidrocarburos, por ejemplo, se utiliza como disolvente en el

proceso de polimerización en solución para la producción de EVA que contiene más de 30% en peso de acetato de vinilo. Además, para la producción económica de EVA, la polimerización tiene que llevarse a cabo en altas concentraciones de sólidos en la que se desarrollan viscosidades considerables. Los productos que contienen hasta un 75% en peso de acetato de vinilo se pueden obtener por polimerización en solución. El EVA de bajo contenido de acetato de vinilo puede ser producido por polimerización en masa de alta presión. La polimerización se lleva a cabo generalmente bajo presiones de 1000 a 3000 bares y a temperaturas de 150 a 280°C. Los productos obtenidos por este procedimiento, que tienen contenidos de acetato de vinilo de hasta 30% en peso, se puede usar como adhesivos termofusibles y como promotores de flujo para los aceites y combustibles (destilados medios del petróleo) y para el revestimiento de cables. Al reactor de polimerización se agrega una corriente controladora de comonomero vinil acetato (VA).

Para llevar a cabo la reacción se utilizan autoclaves (también se pueden utilizar reactores tubulares) y agitación. Se prefieren autoclaves con alto contenido de VA (18%) con el objeto de controlar mejor el comonomero. Una diferencia importante entre el proceso común de producción de polietileno de baja densidad (LDPE) y el empleado para EVA es el sistema de terminación. Se requiere equipo especial para manipular el copolímero EVA, que es blando, de baja temperatura de fusión y frecuentemente pegajosos.  
(4,11)

### d.3. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

Bocco, Z. (2000) sugiere que la incorporación del acetato de vinilo en el proceso de polimerización del etileno produce un copolimero con una cristalinidad más baja que la del homopolimero de etileno común, por lo tanto estas resinas de más baja cristalinidad tiene temperaturas de fusión y temperaturas de termo – sellado más baja, además de que se reduce la rigidez, resistencia a la tracción y dureza, son más transparentes, más flexibilidad a baja temperatura, mayor resistencia a la ruptura y al impacto, pero sus propiedades a altas temperaturas son menores que las del LDPE, también son más permeables al oxígeno, al vapor agua y al oxido de carbono, la resistencia química es similar a la del LDPE, pero las resinas de EVA con mayor contenido de acetato de vinilo tiene una resistencia un poco mayor a los aceites y grasas.<sup>(10)</sup>

Tabla II-18 PROPIEDADES DE EVA PARA ADHESIVOS RECUBRIMIENTOS

Propiedad	Método	Unidad	Valor
Contenido de VA	-	%	8
Densidad	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	0,925
MFI	ASTM D1238	g/10min.	85
Resistencia a la tracción	ASTM D638	Kg/cm <sup>2</sup>	80
Alargamiento a la rotura	ASTM D638	%	400
Fragilidad en frio	ASTM D746	°C/F50	<-76
Punto de ablandamiento Vicat	ASTM D1525	°C	70
Punto de fusión	ASTM D3418	°C	96
Dureza Shore A	ASTM D2240	-	40

Fuente: PRODUCTO EVATHENE UE508. Valores típicos para Eva utilizado en polvo para recubrimiento y adhesivo hot melt

Tabla II-19 PROPIEDADES TÍPICAS DE EVA PARA INYECCION O EXTRUSIÓN

Propiedad	Método	Unidad	Valor
Contenido de VA	-	%	16
Densidad	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	0,937
MFI	ASTM D1238	g/10min.	1,5
Resistencia a la tracción	ASTM D638	Kg/cm <sup>2</sup>	170
Alargamiento a la rotura	ASTM D638	%	700
Fragilidad en frio	ASTM D746	°C/F50	<-76
Punto de ablandamiento Vicat	ASTM D1525	°C	67
Punto de fusión	ASTM D3418	°C	89
Dureza Shore A	ASTM D2240	-	37

Fuente: PRODUCTO EVATHENE UE630. Valores típicos para EVA utilizado para moldeo por inyección, compresión (espumado), extrusión de lámina y perfil, soplado.

Tabla II-20 PROPIEDADES TÍPICAS DE GOMA EVA

Propiedad	Norma	Unidad	Valor
Densidad	ISO 845	kg/m <sup>3</sup>	33±5
Resistencia a la tracción	ISO 1798	kPa	>190
alargamiento	ISO 1798	%	>230
Resistencia a la compresión deflexión 10% deflexión 25% deflexión 50%	ISO 3386/1	kPa	>12 >28 >70
Remanencia a la compresión 22 h de carga, 23 °C deflexión 25% 0.5 h tras descarga 24 h tras descarga	ISO 1856	% %	≤20 ≤8
Conductibilidad térmica a 10 °C a 40 °C	DIN 52612	W/mK	0,035 0,039
Ambito de temperatura de trabajo	ISO 2796	°C	-40/+55
Estabilidad Dimensional	ISO 2796	%	<5
Absorción de agua (28 días)	DIN 53428	%	≤3
Resistencia Eléctrica	DIN 60093	Ωcm	≥10E15
Dureza Shore	ISO 868	-	>23
Velocidad de combustión Horizontal	FMVSS-302	mm/min	<100

Fuente: Producto UNIFOAMr XV A- Todos los datos son promedios y debería ser considerados solo como guí

## e. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL POLIMERO SBR

### e.1. PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS

Muner, M. (2010) manifiesta que la operación de modificación se lleva a cabo a una temperatura de 160 – 170°C. La adición del látex se realiza mediante una bomba de diafragma que puede ser adicionada mediante aire o motor eléctrico. El tiempo de agitación depende del equipo empleado. Los tiempos normales para todo proceso de látex y mezclado oscilan entre 1.5 y 2 horas.<sup>(5)</sup>

## f. ESPECIFICACIONES TENCNICAS DEL POLIMERO SBS

Estireno butadieno estireno. - El estireno-butadieno-estireno, frecuentemente abreviado SBS (del inglés Styrene-Butadiene-Styrene) es un elastómero termoplástico sintético obtenido mediante la polimerización de una mezcla de estireno y butadieno. Es un caucho duro, que se usa para hacer objetos tales como suelas para zapatos, cubiertas de neumáticos, y otro donde la durabilidad sea un factor importante. Es un tipo de copolimero llamado copolimero en bloque.<sup>(1E)</sup>

## f.1. ESTRUCTURA QUÍMICA Y SÍNTESIS

Como se mencionó anteriormente el SBS es un copolimero en bloque. Su cadena principal está constituida por tres segmentos. El primero es una larga cadena de poliestireno, el del medio es una cadena de polibutadieno y el último es otra larga selección de poliestireno. <sup>(11)</sup>

## f.2. PROPIEDADES

El SBS pertenecen a la clase de elastómeros termoplásticos que poseen las propiedades mecánicas del caucho a temperatura ambiente y las capacidades de procesamiento de termoplásticos. La mayor parte de los cauchos son difíciles de procesar, porque están entrecruzados. El SBS y otros elastómeros termoplásticos son similares al caucho sin ser entrecruzados, por lo que resulta sencillo procesarlo para lograr formas útiles. Punto de fusión 160 – 200°C (320 -400°F).

El SBS ofrece un excelente coeficiente de fricción superficial, poca deformación permanente, una gran resistencia a la tracción, excelente comportamiento a bajas temperaturas, procesabilidad y buenas propiedades eléctricas. <sup>(23)</sup>

Tabla II-21 PROPIEDADES DE SBS (VECTOR 8505)

Propiedades del Polímero	Método de prueba	Unidad	Valores típicos (2)
Estireno	Método Dexco	% en peso.	29
Contenido Dibloque	Método Dexco	% en peso.	<1
Índice de fluidez (3)	ASTM D 1238	dg / min	12
Viscosidad en solución (4)	ASTM D 2196	cps	400
Volátiles	Método Dexco	% en peso.	0,4
Ceniza	ASTM D 1416	% en peso.	0,8
Propiedades físicas			
Resistencia a la tracción	ASTM D 412	PSI (MPa)	4800 (33.1)
Módulo	ASTM D 412	PSI (MPa)	530 (3.7)
Alargamiento a la rotura	ASTM D 412	%	1100
Dureza (5)	ASTM D 2240	Shore A	65
Peso específico	ASTM D 792		0.94

Fuente: Producto EVATHENE U630. Valores típicos para EVA utilizado para moldeo por inyección, compresión (espumado), extrusión de lámina y perfil, soplado.

- Polímero en bloque estireno-butadieno-estireno lineal (VECTOR 8508 de Dexco Polymers LP, de la empresa Dow/ExxonMobil) está diseñado para uso como modificador de impacto / dureza de estirenicos y en la formulación de adhesivos.

- Valores típicos, pensando solo como guías. No debe interpretarse como especificaciones.
- Estado de 200°C / 5kg / 25% en peso de tolueno a 25°C / 1 segundo de residencia.<sup>(11)</sup>

### **f.3. USOS**

El SBS es muy adecuado para ser utilizado como material de sellado y un adhesivo en el proceso de la fusión en caliente. También se utiliza ampliamente en aplicaciones como la fabricación de calzado, modificación de asfalto y lamina asfáltica, modificación de polímeros, materiales líquidos de sellado, capas o recubrimientos impermeables, cables eléctricos, componentes de automóviles, aparatos médicos, artículos de oficina y adhesivos.<sup>(25)</sup>

### **g. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CAUCHO**

Infante, A. (2016) afirma que existen dos tipos de caucho, el caucho natural y el sintético. El caucho natural derivado de un fluido llamado látex, proveniente de gran cantidad de árboles presentes en las regiones tropicales. El caucho sintético es el proveniente del procesamiento de hidrocarburos. El más utilizado a nivel mundial es el estiren butadieno (sbr (styrene – butadienerubber)), este es considerado como un copolimero

#### **g.1. PROPIEDADES**

Los artículos realizados con CAUCHO SBR (styrene-butadieneRubber), presentan las siguientes propiedades:

- Tienen a la resistencia al agrietamiento por fatiga.
- Bajas resistencias a la ruptura.
- Posee alta resistencia al ozono, envejecimiento por oxidación, por esto se considera un material apto para estar a la intemperie.
- Repelente al agua.
- Aislante eléctrico.
- Presenta resistencia ante ácidos y sustancias alcalinas.
- Goza de una buena resistencia al desgaste, especialmente a aquel que responda principalmente a mecanismos de fatiga por rozamiento.<sup>(6,23)</sup>

## **g.2. USOS Y APLICACIONES**

El caucho es principalmente utilizado en la fabricación de llantas, neumáticos, artículos impermeables y aislantes.

## **h. POLÍMEROS UTILIZADOS EN LA MODIFICACIÓN DE ASFALTOS**

Actualmente los cementos asfálticos son modificados con elastómeros, sbr y sbs, con plastómeros (EVA), los nombres completos de estos compuestos son los siguientes: acetato de etilvinilo (EVA), Estireno-butadieno – látex (SBR) y estireno butadieno estireno (SBS).

### **h.1. ACETATO DE ETILO**

Líquido inflamable, incoloro con olor característico a frutas, su punto de ebullición es de 77°C (171°F). Es incompatible y reacciona con los oxidantes, catalizadores para polímeros de vinil, peróxidos, ácidos fuertes, cloruro de aluminio. Puede polimerizarse si es contaminado o sujeto a calentamiento.

### **h.2. ACETATO DE VINILO**

Líquido incoloro, con olor característico a frutas, inflamable. Es incompatible y reacciona con los oxidantes ácidos, bases, sílica gel, alúmina, azocompuestos, ozono. Su punto de ebullición es de 72°C (162°F) y su punto de inflamación es de 492.78°C(919.01°F) puede polimerizarse si es contaminado.

### **h.3. ESTIRENO LIQUIDO**

Incoloro amarillo, aceitoso. Puede formar peróxidos en circunstancias específicas, iniciando una polimerización explosiva. La sustancia se puede polimerizar debido al calentamiento suave bajo la influencia de la luz, con peligro de incendio o explosión. Reacción fácilmente con oxidantes fuertes arriba de 31°C(88°F) puede formar mezclas explosivas vapor/ aire. Tiene un punto de ebullición de 145°C(293°F), su densidad relativa es de 0.9 mg/ml, su temperatura de autoignición es de 490°C(914°F).

### **h.4. BUTADIENO**

Gas licuado comprimido incoloro su punto de ebullición es de 4°C(24.8°F), su punto de fusión es de - 109°C (-164°F). Extremadamente inflamable. La sustancia puede formar peróxidos en circunstancias específicas, iniciando una polimerización

explosiva, puede polimerizarse debido al calentamiento suave bajo la influencia de la luz, con peligro de incendio o explosión. Se descompone con explosión por calentamiento rápido a presión. Reacciona vigorosamente con oxidantes y otras muchas sustancias, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al cobre sus aleaciones.<sup>(8,17,28)</sup>

## **i. COMPATIBILIDAD ASFALTO POLÍMERO**

Para Marin, H. (2004) el asfalto reacciona de una forma específica cuando los factores se van incrementando de manera gradual como: la temperatura, carga y tiempo de serviciabilidad. Dentro de estos factores el más importante es el factor temperatura en cual actúa drásticamente cuando se va elevando en su rango haciendo que el asfalto se comporte como una mezcla plástica originando lógicamente grietas transversales y ahuellamiento. El objetivo perseguido con la adición de polímeros al asfalto es el de mejorar su reología, buscando:

- Disminuir la susceptibilidad térmica. Disminuir la fragilidad en climas fríos y aumentar la cohesión en tiempos de calor.
- Disminuir la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.
- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Mejorar la adherencia del asfalto a los agregados.<sup>(23)</sup>

## **j. PRINCIPALES MODIFICADORES UTILIZADOS EN EL ASFALTO**

Según Berdiñas, A. (2015) hace referencia que en muchos países como Chile, Colombia y Paraguay están utilizando el caucho natural o sintético / reciclado como aditivo en el tendido de asfalto para vías departamentales, resultando muy eficientes, económicos y competitivos. Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

- Elastómeros son polímero de respuesta elástica (caucho, sbs, sbr).
- Plastómeros rigidizan el asfalto ofreciendo resistencia, como consecuencia no son deformables elásticamente (PVC, EVA).<sup>(18)</sup>

### **j.1. ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS TIPO ELASTÓMEROS**

A Avellan, C. (2007) manifiesta que los asfaltos modificados con elastómeros tienen una elevada resistencia mecánica, resistencia a la tracción, poder humectante y favorece la adhesión de los agregados. Dando lugar a que los asfaltos tratados con estos polímeros van a tener mejores expectativas de duración y comportamiento mecánico. En otras palabras, el pavimento se deteriora por trituración o abrasión del agregado antes que por la falla del ligante (asfalto) su resistencia al envejecimiento es excelente son empleados para casos específicos como:

- Zona de frenado intenso, donde se requiere una gran resistencia al derrapaje.
- Zonas donde se requiere resistir a las maniobras a los agentes químicos.
- Zonas donde se requiere mantener una buena rugosidad (ver FIGURA II-28) durante periodos largos.<sup>(10,5,18)</sup>

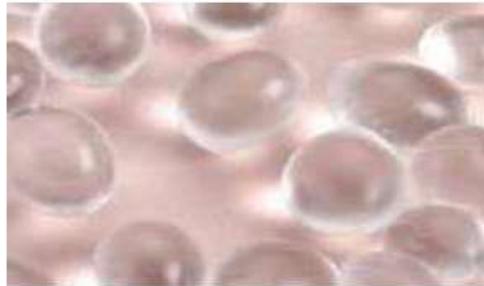


FIGURA II-28 POLIMERO TIPO ELASTOMERO  
FUENTE: ANALISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE ASFALTOS MODIFICADOS CON DIVERSOS POLIMEROS

## j.2. LÁTEX, HULE NATURAL, SBS

Este tipo de polímero (Ver FIGURA II-29) es el más utilizado en la modificación del asfalto, el efecto de la adición de estos al asfalto es aumentar su intervalo de plasticidad y disminuir la susceptibilidad térmica. El punto de ablandamiento puede aumentar hasta 20°C, a temperatura inferior a 70°C los asfaltos tienen menor penetración esto es interesante ya que a estas temperaturas se dan deformaciones en las superficies de rodamiento.<sup>(4)</sup>



FIGURA II-29 POLIMERO SBS SIN PROCESAR Y PROCESADO  
FUENTE: ANALISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE ASFALTOS MODIFICADOS CON DIVERSOS POLIMEROS

Los asfaltos más duros, pero siguen siendo elásticos, lo cual evita la formación de roderas y el agrietamiento de la misma. La rigidez de estos asfaltos ayuda a soportar los largos tiempos de carga sin deformaciones. Entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $+10^{\circ}\text{C}$  el elastómero proporciona al asfalto mayor elasticidad sin aumentar la rigidez.<sup>(16)</sup>

### **j.3. HULE DE LLANTA**

Las propiedades que adquiere el asfalto al añadirle este tipo de hule son similares a la que se obtiene con el polímero sbr o sbs aunque se deben utilizar dosificaciones más elevadas. Las llantas para ser utilizadas como agentes modificadores de asfalto requieren de un proceso físico para reducir sus dimensiones el cual suele ser complejo. (Ver FIGURA II-30)



*FIGURA II-30 HULE DE LLANTA TRITURADO*

*FUENTE: ANALISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE ASFALTOS MODIFICADOS CON DIVERSOS POLIMEROS*

Estos asfaltos modificados presentan altas viscosidades por lo que requiere de algún fluidificante, alrededor del 6% de querosene, son usados principalmente en riegos de sello destinado a absorber las grietas debidas a contracciones y dilataciones, estos riegos son llamados SAM (membranas de absorción de tensiones).<sup>(7)</sup>

### **j.4. ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS TIPO PLASTOMEROS**

Debido a la forma que estos polímeros se incorporan al asfalto aumentan de forma considerable su viscosidad incluso en bajas dosificaciones si aumenta la concentración del polímero (ver FIGURA II-31) se llega a un punto en el cual la mayoría de los aceites están asociados con el polímero y se produce un cambio drástico en las propiedades físicas del asfalto. Estas se acercan más a las propiedades del polímero que a las del asfalto. Esto sucede cuando el contenido de polímero va de 8 – 10% en este

punto el asfalto aumenta el intervalo de plasticidad, aumenta la resistencia a la ruptura disminuye su sensibilidad termina sobre todo en el intervalo de temperaturas de aplicación.<sup>(28)</sup>



*FIGURA II-31 POLIMERO PLASTOMERO*

*FUENTE: ANALISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE ASFALTOS MODIFICADOS CON DIVERSOS POLIMEROS*

### **j.5. POLIETILENO**

Este polímero no tiene una alta compatibilidad con el asfalto ni le confiere propiedades espectaculares, pero se usa ya que es un componente de bajo costo y soluciona un problema ecológico, al poder disponer de los desechos de este material en las carreteras (ver FIGURA II-32).



*FIGURA II-32 POLIETILENO*

*FUENTE: ANALISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE ASFALTOS MODIFICADOS CON DIVERSOS POLIMEROS*

Los asfaltos modificados con este tipo de polímero termoplásticos cuando son añadidos en bajas proporciones, poseen las siguientes propiedades:

- Buena resistencia al calor.
- Buena resistencia al envejecimiento.
- Baja viscosidad.

En el plano mecánico:

- La resistencia Marshall aumenta de 2 a 2.5 veces a 25°C mientras que 0°C y -2.5°C es prácticamente igual a la de un asfalto convencional.
- Buena flexibilidad a baja temperatura.
- Cuando es utilizado en concentraciones de 7% aumenta la rigidez del asfalto a temperaturas elevadas.
- Buena resistencia a deformaciones permanentes.<sup>(8,17)</sup>

### j.6. PVC

Este polímero tiene baja compatibilidad con el asfalto, no es resistente al calor se descompone por la acción de la luz solar es por esto que no es utilizado para modificación de asfalto, resiste muy bien al agua y/o agentes químicos (Ver FIGURA II-33).



FIGURA II-33 POLIMERO TIPO PVC.

FUENTE: ANALISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE ASFALTOS MODIFICADOS CON DIVERSOS POLIMEROS

### j.7. EVA

Los polímeros o resinas ETILO- VINIL ACETATO son relativamente nuevos en la modificación de asfaltos, son muy compatibles con estos. La relación acetato de vinilo / etileno es muy importante, pudiéndose variar el contenido de acetato de vinilo de algún % hasta 50% o incluso más. Cuando los contenidos de acetato de vinilo son bajos, las propiedades se asemejan a las de los asfaltos mencionados anteriormente. Un polímero EVA con un contenido del 18% de acetato de vinilo es el más adecuado para ser usado en la construcción de carreteras. Cuando se aumenta la concentración de vinilo en el polímero (15 a 30%) adquiere un excelente poder adherente. Los asfaltos modificados con EVA poseen las siguientes características:

- Buena estabilidad térmica.

- Las dosificaciones de polímero oscilan entre el 2 hasta un 10% dependiendo de las propiedades que se pretende obtener.
- La temperatura de ablandamiento aumenta entre 6 y 12°C.
- Excelente resistencia al resquebrajamiento en flexión es decir a las fatigas provocadas por la flexiones o vibraciones repetidas.
- Aumentan la cohesión de mezclas a medida que aumenta el contenido de polímero (Ver FIGURA II-34).<sup>(25)</sup>



FIGURA II-34 POLIMERO TIPO EVA  
FUENTE: ANALISIS DE LAS VENTAJAS Y  
DESVENTAJAS EN EL USO DE ASFALTOS  
MODIFICADOS CON DIVERSOS POLIMEROS

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **GRC:** Prueba que detecta la cantidad de tejido renal cortical que está funcionando a través de imágenes tomadas con un cámara gamma, aproximadamente dos horas después de la inyección del fármaco radioactivo.<sup>(15)</sup>
- **AGREGADO:** Material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.<sup>(12)</sup>
- **AGREGADO GRUESO:** Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (#4).<sup>(12)</sup>
- **AGREGADO FINO:** Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (# 4).<sup>(12)</sup>
- **AHUELLAMIENTO:** Surcos que se desarrollan en el pavimento, en los carriles de las ruedas. Puede ser resultado de una consolidación por movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos del tráfico o, pueden ser generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Ocurren como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir el tráfico.<sup>(23)</sup>
- **ASFALTO:** Material cementante, de color entre carmelito oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de petróleos crudos.<sup>(1)</sup>
- **ASFALTO MODIFICADO:** Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en

el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y geológicas, y disminuir su susceptibilidad con la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interface entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.<sup>(9)</sup>

- **BITUMEN:** Sustancia cementante de color negro (sólida, semi- sólida o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas o alquitranes, los betunes y las asfálticas.<sup>(20)</sup>
- **CONSISTENCIA:** Describe el grado de fluidez o plasticidad de un cemento asfáltico a determinada temperatura. La consistencia de un cemento asfáltico varía con la temperatura: por lo tanto es necesario usar una temperatura patrón cuando se está comparando la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro. La temperatura utilizada para este propósito es 60°C (140°F).<sup>(26)</sup>
- **DEFORMACIÓN:** Cualquier cambio que presente un pavimento respecto a su forma original.<sup>(12)</sup>
- **DENSIDAD:** Grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada. Está limitada por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la mezcla.<sup>(20)</sup>
- **DESINTEGRACIÓN:** Separación progresiva de las partículas del agregado en el pavimento desde la superficie hacia abajo, o desde los bordes hacia el interior. Puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa de rodadura muy delgada en periodos fríos, agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.<sup>(23)</sup>
- **DUCTILIDAD:** Capacidad de una sustancia para ser estirada o estrechada en forma delgada.<sup>(13)</sup>
- **ESTABILIDAD:** Capacidad de una mezcla asfáltica de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad está en función de la cohesión y la fricción interna del material.<sup>(13)</sup>
- **FLEXIBILIDAD:** Capacidad del pavimento asfáltico de ajustarse a los asentamientos en la fundación.<sup>(13)</sup>
- **GRIETAS:** Fracturas en la superficie del pavimento asfáltico. XIV.<sup>(17)</sup>
- **HULLA:** mediante la destilación destructiva del carbón bituminoso de piedra.<sup>(24)</sup>

- **IMPERMEABILIDAD:** Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.<sup>(21)</sup>
- **LA FATIGA:** Causada por cargas móviles. Entre más alto contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.<sup>(8)</sup>
- **MEZCLA ASFÁLTICA:** Mezclas de planta que deben ser colocadas y compactadas en caliente a temperaturas elevadas.<sup>(13)</sup>
- **ONDULACIONES:** Deformación en el pavimento, dando origen a un movimiento plástico caracterizado por ondas en la superficie del pavimento.<sup>(21)</sup>
- **PENETRACIÓN:** Consistencia de un material bituminoso, se expresa como la distancia, en décimas de milímetro (0.1 mm), que una aguja patrón penetra verticalmente una muestra del material bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.<sup>(3)</sup>
- **POLÍMERO:** Sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten.<sup>(19)</sup>
- **RESISTENCIA:** Propiedad de la superficie asfáltica de resistir el deslizamiento, particularmente cuando esta mojado.<sup>(10)</sup>
- **STOKE:** Unidad de viscosidad cinemática igual a la viscosidad de un fluido en poises dividida entre la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico.<sup>(29)</sup>
- **TAMIZ:** Aparato de aberturas cuadradas, utilizado para separar tamaños de material.<sup>(4)</sup>
- **TRABAJABILIDAD:** Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.<sup>(6)</sup>
- **VACÍOS:** Espacios de aire en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto.<sup>(23)</sup>
- **VISCOSIDAD:** Medida de la resistencia al flujo. Método usado para medir la consistencia del asfalto.<sup>(14)</sup>

## 2.4. FORMULACION DE HIPOTESIS

### 2.4.1. HIPOTESIS GENERAL

La influencia de los polímeros (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) en la modificación de asfaltos convencionales tienen mejores características que la de un asfalto convencional mediante metodología MARSHALL

### 2.4.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS

- a) Las propiedades mecánicas de los asfaltos convencionales modificados con polímeros (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) serán mejores que las de un asfalto convencional sin modificar.
- b) El costo – beneficio de la colocación de polímeros (EVA, SBR, SBS Y CAUCHO) como modificación de asfaltos convencionales en el

pavimento de la carretera Pilcomayo-Chupaca es costoso y poco beneficioso que una mezcla convencional.

- c) EL polímero (EVA) es la beneficioso en la modificación de asfaltos convencionales para la carretera Pilcomayo Chupaca a diferencia de los otros polímeros SBR, SBS Y CAUCHO

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

#### **Polímeros**

EVA, SBR, SBS Y CAUCHO son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.

### **2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

#### **Asfalto convencional**

Consiste en una combinación de piedra chancada, arena chancada, arena zarandeada, uniformemente mezclados en caliente con cemento asfáltico en una planta de mezclas asfálticas que reúna los requisitos de calidad y control de dicho producto. Mezcla de agregados con cemento asfáltico actuando como aglomerante sin la intervención de ningún tipo de modificador (polímero).

## 2.6. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Tabla II-22 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES						
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	TECNICAS	INSTRUMENTACION	
					INSTRUTO DE RECOLECCION DE INFORMACION	INSTRUMENTO DE MEDICION
<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> POLIMEROS EVA, SBR, SBS Y CAUCHO son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.</p>	PORCENTAJE %	-----	-----	OBSERVACION Y ANALISIS DE DOCUMENTO	GUIA DE OBSERVACION	METODO MARSHALL
<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> ASFALTO CONVECCIONAL consiste en una combinación de piedra chancada, arena chancada, arena zarandeada, uniformemente mezclados en caliente con cemento asfáltico en una planta de mezclas asfálticas que reúna los requisitos de calidad y control de dicho producto. Mezcla de agregados con cemento asfáltico actuando como aglomerante sin la intervención de ningún tipo de modificador (polímero).</p>	ESTRUCTURAL	VISCOCIDAD	POISE	OBSERVACION Y ANALISIS DE DOCUMENTO	GUIA DE OBSERVACION	VISCOSIMETRO
		PENETRACION	PA/SEG	OBSERVACION Y ANALISIS DE DOCUMENTO	GUIA DE OBSERVACION	EQUIPO DE PENETRACION
		PUNTO DE INFLAMACION	T°	OBSERVACION Y ANALISIS DE DOCUMENTO	GUIA DE OBSERVACION	COPA ABIERTA DE CLEVELAND

FUENTE: ELABORACION PROPIA

## **CAPITULO III METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

### **3.1. METODO DE INVESTIGACION**

El método de investigación es de tipo Deductivo – Analítico

**Deductivo** porque después de definir las variables independientes y dependientes con sus respectivos indicadores, se inició con los procedimientos respectivos en cuanto a la hipótesis para un adecuado diseño de mezclas asfálticas con polímeros SBS SBR EVA Y CAUCHO, la que se basa en agregar porcentajes de polímeros a la mezcla convencional.

**Analítico** por que el presente trabajo se realizó mediante el método de análisis de resultados, se buscó diferentes teorías, conceptos y resultados del uso de polímeros, ayudándonos para nuestra investigación, también se consultó la norma técnica de asfaltos convencionales y modificados

### **3.2. TIPO DE INVESTIGACION**

El tipo de investigación es aplicada, con un enfoque cuantitativo.

**APLICADA**, ya que busca convertir el conocimiento puro en conocimiento práctico y útil para la vida de nuestra civilización, buscando comprobar la veracidad de los conocimientos para así beneficiarse.

**CUANTITATIVO**, ya que busca emplear la experimentación y analizar la causa efecto de los polímeros en los asfaltos no convencionales, para esto tiene un proceso secuencial, deductivo, probatorio y analiza la realidad objetiva, con la que se podrá generalizar resultados.

### **3.3. NIVEL DE INVESTIGACION**

El nivel de investigación es el descriptivo, explicativo.

Es descriptivo, porque describirá la realidad de situaciones, eventos, personas, grupos u otros que se estén abordando y que se pretenda analizar.

Es explicativo, porque este tipo de investigación plantean hipótesis predictivas que, para ser contrastadas, requieren de un experimento con poblaciones de condiciones o características uniformes, entendiéndose necesario, generalmente, hacer y tomar una prueba de entrada antes de aplicar el cambio, y otra prueba de salida para comprobar el cambio

### 3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

**CUASI EXPERIMENTAL**, ya que se manipulará deliberadamente al menos, una variable independiente para observar su efecto y relación con una variable dependiente.

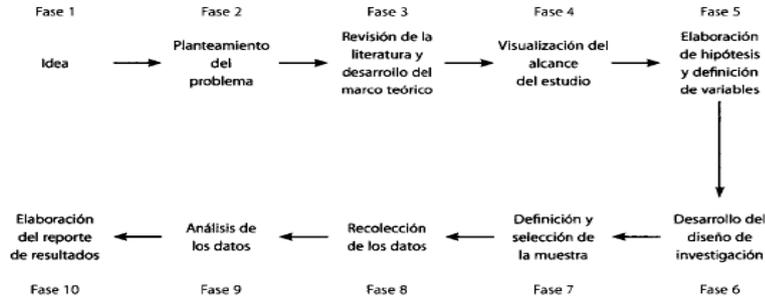


FIGURA III-1 PROCESO CUANTITATIVO

Fuente: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CUARTA EDICION, CAPITULO I, Pág. 23

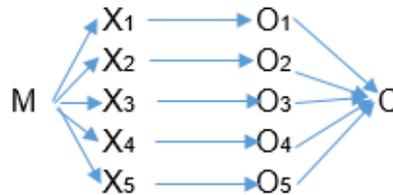


FIGURA III-2 DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Fuente: Elaboración Propia

M: Muestra

X<sub>1</sub>: Convencional

X<sub>2</sub>: Polímero SBS

X<sub>3</sub>: Polímero SBR

X<sub>4</sub>: Polímero EVA

X<sub>5</sub>: Caucho

O: Observación

C: Comparación de propiedades

### 3.5. POBLACION Y MUESTRA

#### 3.5.1. POBLACION

La ejecución del trabajo de investigación se realizó en el laboratorio Geolumas Sac para la Carretera Pilcomayo Chupaca, con una población muestral de 192 briquetas de asfalto.

#### 3.5.2. MUESTRA

La muestra fue probabilística, para ello se tuvo que determinar el tamaño de la muestra, así como se indica en el capítulo iv teniendo como resultado una muestra de 30 briquetas que fueron evaluadas.

Se utilizó la técnica llamada muestreo intencional o criterial, ya que al emplear esta técnica se buscó que la población sea representativa,

también en valoración del tesista se consideró una muestra de 30 briquetas que fueron del polímero con mejores propiedades de fluencia y estabilidad correspondiente a la carretera Pilcomayo Chupaca.

### **3.6. TECNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

#### **3.6.1. OBSERVACION-INDUCTIVA**

##### **a. OBSERVACION**

La técnica utilizada es la de observación de los resultados de muestras obtenidas en los ensayos de laboratorio (GEOLUMAS SAC) también se hizo un análisis documental, donde se consideraron las fichas bibliográficas, de resumen, de párrafo; que nos sirvieron para estructurar el marco teórico referencial y conceptual.

El material que se necesitó como base para la investigación es el polímero EVA SBR SBS Y HULE MOLIDO DE NEUMATICO (CAUCHO).

Esta investigación se dividió en las siguientes etapas

La primera etapa corresponde a la realización de los siguientes ensayos:

##### **a.1. AGREGADOS PETREOS**

- Peso específico y absorción de los Agregados Finos. ASTM C128(AASHTO T84)
- Peso específico y absorción de los agregados grueso ASTM C 127 /AASHTO T 85).
- Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos. ASTM C136(AASHTO T 27).
- Equivalente de arena de agregados finos ASTM D 2419.
- Resistencia a la abrasión de los agregados gruesos AASHTO T 96 (ASTM C 131).
- Limite Liquido, Limite plástico e índice plástico ASTM D 4313 – AASHTO T89

##### **a.2. ASFALTO**

- Índice de penetración de cementos asfalticos ASTM D 5 (AASHTO T49)

##### **a.3. BRIQUETAS**

- Elaboración de briqueta NORMA MARSHALL

- Gravedades Especificas
- Gsb (Gravedad Especifica de los agregados)
- Gmm (Gravedad Especifica teórica máxima medido)
- Gb (Gravedad Especifica del asfalto)
- Mezcla asfáltica en caliente convencional NROMA MARSHALL
- Mezcla asfáltica en caliente modificada con polímero SBS EVA SBR Y CAUCHO
- Desgaste de Briquetas mediante maquina los ángeles de mezcla asfáltica convencional
- Desgaste de briquetas mediante máquina de los ángeles de mezcla asfáltica modificada con polímero SBS EVA SBR Y CAUCHO.

La segunda etapa consistió en Revisión bibliográfica sobre los estudios relacionados al tema de estudio. También se recopiló información respecto a teorías de asfalto con polímeros.

- ASTM D 2171
- ASTM D1745
- ASTM D 6084
- ASTM D 3675
- ASTM D 3407
- ASTM D 70
- ASTM D 2042
- ASTM D 113

#### **b. INDUCTIVA**

Después de haber realizado las dos etapas anteriores, se dio inicio a una modificación de la mezcla asfáltica superponiendo porcentajes de polímero y generando el informe final de tesis y análisis de los datos obtenidos.

### **3.7. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION DE DATOS**



### 3.8. DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTOS

Para el desarrollo de la presente tesis se contó con una parte técnica llevada a cabo en el laboratorio, para el control de calidad de los agregados, asfalto convencional y asfalto modificado. Dichos ensayos fueron llevados a cabo en GEOLUMAS SAC.

#### 3.8.1. ESTUDIO DE AGREGADOS PÉTREOS

Este estudio consiste en definir las propiedades como el peso específico bruto, el peso específico aparente y la absorción de los agregados pétreos localizados en la cantera "LOLES" ya que estos fueron utilizados. Estos agregados se afrontarán a las pruebas como indica la norma ASTM para así diagnosticar el buen comportamiento dentro de la mezcla asfáltica

#### 3.8.2. ESTUDIO DE ASFALTOS

Este estudio consiste en lograr la mezcla óptima para eso se realiza distintas pruebas que concluirán el modo de reacción de cada una también deberán tener buenas propiedades para emplearlas como alternativa de solución ante los problemas que acontecen en el presente.

Finalmente, el asfalto que fue empleado es de la planta "LOLES" que según la norma CE.01 Pavimentos urbanos indica que para cada grado de temperatura se recomienda cada grado de asfalto como se muestra en la tabla III-2.

Tabla III-1 RANGOS DE PENETRACION EN ASFALTOS

Condición de temperatura	Grados de asfalto
Frio, temperatura media anual del aire $\leq 7$ °C	PEN 120/150, 85/100
Templado, temperatura media anual del aire entre 7 °C y 24 °C	PEN 85/100, 60/70
Caliente, temperatura media anual del aire $\geq 24$ °C	PEN 60/70, 40/50

Fuente: Tabla b1 materiales para pavimento Norma CE.10

En esta tesis se empleó el grado de asfalto PEN "85/100" por qué Pilcomayo satisface las condiciones de tener un clima  $<7^{\circ}\text{C}$

### **3.8.3. DESARROLLO DE LA MODIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON POLÍMEROS EVA SBS SBR Y HULE DE CAUCHO**

Este desarrollo tiene como propósito principal de examinar la deflexión y la mala resistencia de los pavimentos ante cargas dinámicas para esto se realizaron ensayos en el laboratorio de "GEOLUMAS SAC"

### **3.8.4. PRUEBA DE LABORATORIO Y ENSAYOS A REALIZARSE AGREGADOS GRUESO Y FINOS**

#### **a. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (basado en ASTM C 136-01).**

Se desarrollo el procedimiento de tamizado, de acuerdo a las pautas de la norma, utilizando diversos tamices estándar como indica la norma.

##### **a.1. OBJETIVO:**

Se preciso en % los variados tamaños en que se constituye el suelo, en cuanto al integro de la muestra utilizada.

##### **a.2. PRINCIPIO TEÓRICO:**

En este ensayo se clasifican las partículas de un suelo en sus variados tamaños, designado a la fracción menor (tamiz N° 200) como limo, arcilla y coloide. Este ensayo se realiza empleando tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido advierte el tamaño de la muestra, esto solo disgrega una porción de suelo entre dos tamaños.

##### **a.3. EQUIPOS Y MATERIALES**

###### **a.3.1. EQUIPOS**

- Tamices (3", 2 ½", 2", 1 ½", ¾", ½", 3/5", ¼", N°4 N°10. N°40 N°60 N°100, N°200)
- Balanza con capacidad de 20 kg
- Horno eléctrico (temperatura 105 +/- 5)
- Bandejas, agitador de vidrio, brochas de cerda.
- Vaso precipitado
- Cepillo y brocha

###### **a.3.2. MATERIALES**

- Agregados.

#### **a.4. PROCEDIMIENTO:**

##### **a.4.1. FRACCIÓN GRANULAR GRUESA:**

- Inicialmente, fracción granular gruesa se pesa en la balanza y el peso se asienta en la hoja de registro
- Después de realizar el tamizado para separar las diferentes partículas (3", 2 ½", 2", 1 ½", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, iniciando en orden decreciente teniendo en cuenta de no combinar las partículas tamizadas.
- Se debe constatar que la adición de los pesos retenidos en cada tamiz sea equivalente al peso de la fracción granular gruesa, con una flexibilidad de 0.5%

##### **a.4.2. FRACCIÓN GRANULAR FINA**

- Coger todo el material pasante el tamiz N°4 (Ba)
- Pesar en la balanza de 20k y asentar en la hoja de registro
- Vaciar la muestra en el tamiz N° 200, teniendo el cuidado de no desperdiciar el material.
- Descartar las partículas inferiores al tamiz N° 200 (limo, arcilla y coloides) lavando el material ya que estos son los finos finalmente todo el material retenido en el tamiz N° 200 será arena.
- Situar en un recipiente, teniendo en cuenta de no dejar material pegado en el tamiz, se pasa el material a una escudilla de 600ml, haciendo uso del recipiente lavador. Se deshumecece la muestra en el horno a una temperatura de 105+/-5 C por 18 horas aprox.
- Como último paso se deja enfriar y se clasifica por medio de tamices N°10 N° 40, N° 60 N° 200. se pesan las fracciones retenidas en cada uno de tamices y se asientan en la hoja de registro.

#### **a.5. RESULTADO:**

Como resultado del proceso antes descrito 48\*0.20es la curva denominada granulométrica los porcentajes de agregados que se indican son acumulados. Enlazan el diámetro de la partícula en mm y el % que pasa en peso.

#### **b. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS EMPLEADOS LA NORMA ASTM C 128 (AASHTO T84).**

##### **b.1. OBJETIVO**

Hallar el peso específico y absorción de una muestra de agregado fino para conocer si satisface los requerimientos para la realización del diseño de mezcla asfáltica.

Fijar el tipo de agregado fino para la producción de un buen diseño de mezcla asfáltica.

### **b.2. PRINCIPIO TEÓRICO**

Se hallara el peso específico y absorción del agregado fino a partir del humedecimiento de los agregados en un lapso de 24 horas.

### **b.3. EQUIPO**

- Balanza
- Picnómetro (frasco) y la placa de cubierta de vidrio.
- Molde de metal en forma de un tronco de cono.
- Metal anti sabotaje con una masa de 340 +- 15g de apisonamiento y la cara 25+- 3 mm de diámetro
- Cuchara
- Secadora de cabello
- Tamices N°4 (4.75 mm) horno

### **b.4. PROCEDIMIENTO**

- Conseguir una cantidad de muestra para luego cuartear
- Consignar solo 1500 gr de agregado fino en una tara que se va a necesitar para el ensayo
- Una vez consignado los 1500 gr se tendrá que saturar la muestra por 24 hr
- Después de haber pasado 24 hr se comienza a sacar la muestra de la tara a una bandeja para tener mejor holgura.
- Para ver si la muestra esta aceptable, se puso una capa de material del cono y se apisona con 25 golpes, para posteriormente acomodar la segunda capa sin apisonarla.
- Se mete en el picnómetro 200g de agregado fino y se completa con agua hasta casi el 90% de su capacidad.
- Se hace rotar el picnómetro, se revuelve e invierte, para descartar todas las burbujas de aire.
- Para este ensayo se graduo la balanza con una tara de plástico N°1 instaurada en sus requerimientos técnicos.
- Luego se halló el peso del conjunto picnómetro agua y agregado en la balanza previamente calibrada.

- El agregado fue retirado del picnómetro y deshumedecido en un horno a temperatura constante de 110 +/- 5° C (230 +/- 9°f).
- Se halló la gravedad específica bulk seca, gravedad específica bulk saturada superficialmente seca y el porcentaje de absorción, según el método de ensayo ASTM C 128

## b.5. CALCULOS

Para hallar el peso específico del material impermeable de las partículas se aplicará la siguiente fórmula.

$$\text{Peso Específico} = \frac{C}{C + D - E} * \gamma$$

Para hallar el peso específico de las partículas saturadas con superficie seca se aplicará la siguiente fórmula

$$\text{Peso Específico} = \frac{A}{A + D - E} * \gamma$$

Para hallar el peso específico de las partículas secas se aplicará la siguiente fórmula

$$\text{Peso Específico} = \frac{C}{A + D - E} * \gamma$$

Para hallar el porcentaje de absorción se aplicará la siguiente fórmula

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{A - C}{C} * 100$$

Donde

A= Peso de la muestra saturada con superficie seca, en gram

C= Peso de la muestra seca en gramos

D= Peso del picnómetro lleno de agua en gramos

E= Peso del picnómetro con la muestra saturada en gramos

Y= Peso específico del agua a la temperatura que se realiza el ensayo

## **c. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS EMPLEANDO LA NORMA ASTM C 127 (AASTHO T 85).**

### **c.1. OBJETIVO**

Con este método se halló el peso específico bruto, aparente y el peso específico bruto a procedencia del peso agregado en situación de superficie seca saturada y absorción.

### **c.2. PRINCIPIO TEÓRICO**

Con este ensayo se hallará la gravedad específica y absorción del agregado grueso la gravedad específica puede ser expresada aparente. Este ensayo no se debe emplear en agregados de bajo peso.

### **c.3. EQUIPO**

- Balanza
- Franela
- Horno
- Taras
- Tamices

### **c.4. PROCEDIMIENTO**

- Conseguir una cantidad de muestra para luego cuartear
- Poner solo 2000g de agregado grueso en una tara que se va a solicitar para el ensayo.
- Después de haber puesto los 2000gr en la tara continuaremos a saturar la muestra por 24 hrs
- Después de haber pasado las 24 hr se prosigue con el secado superficial de la muestra con apoyo de una franela
- Una vez finiquitado el secado con la franela se tiene a graduar la balanza para iniciar con el pesado de la muestra superficialmente seca.
- Después de haber pesado la muestra se prosigue a pesar la canastilla, pero esta debe estar hundida en agua.
- Una vez pesada la canastilla se tiende a meter la muestra superficialmente seca a la canastilla para conseguir el peso de la muestra sumergida

- Concluida con realizar los pesos se traslada la muestra al horno por 24 hr
- Después de haber pasado las 24hr en el horno se saca de esta para pesarlo

### c.5. CÁLCULOS

Para hallar el peso específico del material impermeable de las partículas se usará la siguiente formula

$$\text{Peso Especifico} = \frac{C}{C + D - E} * \gamma$$

Para hallar el peso específico de las partículas saturadas con superficie seca usara la siguiente formula.

$$\text{Peso Especifico} = \frac{A}{A + D - E} * \gamma$$

Para hallar el peso específico de las partículas secas se usará la siguiente formula.

$$\text{Peso Especifico} = \frac{C}{A + D - E} * \gamma$$

Para hallar el porcentaje de absorción se usará la siguiente formula.

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{A - C}{C} * 100$$

## d. DETERMINACIÓN DEL VALOR “EQUIVALENTE DE ARENA” DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS APLICANDO LA NORMA ASTM D 2419

### d.1. OBJETIVO

En este procedimiento se tiene como meta utilizarse como un ensayo rápido de correlación en el campo. La razón del ensayo es señalar, en condiciones normalizadas; la relación relativa de finos plásticos o de naturaleza arcillosa en los suelos granulares y agregados finos pasando el tamiz de 4.75 mm(N°4)

## **d.2. PRINCIPIO TEÓRICO**

Este ensayo suministra un método de campo veloz para hallar cambio en la cualidad de los agregados durante la producción o colocación de esta.

## **d.3. EQUIPO**

- Probeta
- Tara
- Secadora de cabello
- Balanza
- tapones de hule
- Tubo irrigador

## **d.4. PROCEDIMIENTO**

- Conseguir una cantidad de 500 gr de agregado fino
- Saturar la muestra por 24hr
- Después de transcurrir las 24 hr se prosigue en verter la muestra en una bandeja para deshumedecerla con ayuda de una secadora de cabello
- Adquirir 88 ml de solución STOCK
- Después de haber adquirido la solución STOCK se adquiere un galón de agua destilada a la cual se le detrae 88ml para luego llenar el galón con los 88ml de solución STOCK
- Se necesitará tres probetas y una manguera que lleven la combinación de la solución STOCK y agua destilada a la probeta
- Colocar el galón de la combinación a una altura de 95 – 110 como determina la norma
- Poner la muestra en las tres probetas con apoyo de una tara pequeña cuya capacidad de muestra es de 100gr
- Después de haber situado la muestra en las probetas se tiene que verter el líquido de la combinación con apoyo de la manguera
- Se dejará reposando en el lapso de 10 minutos
- Cubrimos la probeta y revolveremos 90 ciclos (ida y vuelta 20cm) en un lapso de 30 segundos
- Lavamos el tapón con la cual cubrimos la probeta y las paredes interiores de la probeta con disolución lavadora
- Se dejará reposando en el lapso de 10 minutos
- Realizamos la lectura h1 y h2 para las tres muestras

#### **d.5. CÁLCULOS**

Para hallar el equivalente de arena del suelo se empleará la siguiente fórmula

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} * 100$$

#### **e. ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO USANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES PARA MATERIALES PÉTREOS DE LA CANTERA EMPLEANDO LA NORMA AASHTO T 96 (ASTMC 131).**

##### **e.1. OBJETIVO**

Se hallará el desgaste producido por una combinación de impacto y rozamiento superficial en una muestra de agregado grueso.

Esta prueba radica en hacer golpear una muestra de material con una carga abrasiva dentro de un tambor metálico giratorio, a una determinada velocidad y durante un tiempo determinado. La estimación de la resistencia a la abrasión se efectúa a partir del aumento de material fino que se produce por la consecuencia de golpeo con la carga abrasiva dentro del tambor cilíndrico. Este ensayo se ejecuta en la máquina de los ángeles.

##### **e.2. PRINCIPIO TEÓRICO**

Con este método, se traza el procedimiento para hallar la resistencia al desgaste de agregado grueso, natural o triturado más pequeños de 37.5 mm (1 ½ pulg) empleando la máquina de los ángeles

##### **e.3. EQUIPO**

- Tamiz
- Balanza
- Horno
- Carga (esferas de acero casi de 46.8 mm o 1 27/32 pulg).
- Máquina de los ángeles

#### e.4. PROCEDIMIENTO

- Primero cuartear el agregado pétreo coger 1500 gr de 1/2 “y 1500 gr de 3/8” lavarla.
- Deshumedecerla a 110°C el agregado hasta que tenga un peso constante.
- Ubicar la muestra a evidenciar en la máquina de los ángeles de igual manera se mete la carga abrasiva según la tabla III.3 que nos señala el número de esferas a colocar según la combinación elegida.

Tabla III-2 CARGA DE ACUERDO AL TIPO DE COMPOSICION

Tipo de Composición	N. de Esferas	Carga Aplicada (g)
A	12	5000 ± 10
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Normas ASTM

- Preparar la máquina para que gire a 500 revoluciones a una velocidad de 30 a 33 r.p.m.
- Después de haber elegido el número de esferas y haber aplicado a nuestra muestra, retirar el material de la máquina y retirar las esferas.
- Clasificar el material sobre el tamiz de 4.75 mm (N°4) y pesarlo

#### e.5. CALCULOS

Para hallar el porcentaje de desgaste que soporto el agregado pétreo después de haber sido sometido al ensayo de la máquina de los ángeles emplearemos la siguiente formula:

$$Pd = \left( \frac{Pa - Pb}{Pa} \right) * 100$$

Donde:

Pd= Porcentaje de desgaste (%)

Pa= Masa de la muestra seca antes del ensayo (gr)

Pb = Masa de la muestra seca después del ensayo, sobre el tamiz 4,75 mm (gr).

## **f. ENSAYO DETERMINACIÓN LIMITE PLÁSTICO PARA LOS MATERIALES PÉTREOS DE LA CANTERA EMPLEANDO LA NORMA ASTM D 4313**

### **f.1. OBJETIVO**

Hallar en laboratorio el limite plástico (LP) de un material pétreo

Limite plástico es el % de humedad del suelo que fabricado en un cilindro de casi 3,2 mm (1/8) de diámetro, (rodando dicho suelo entre una superficie lisa y la palma de la mano sin que se destruya) en otras palabras es el porcentaje o contenido de agua que localiza el estado plástico del estado resistente semisólido

El índice de plasticidad de un suelo es la resta numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo

### **f.2. PRINCIPIO TEÓRICO**

Es el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rodillos de 3 mm de diámetro, se parte.

Es cuando el suelo se traslada de un estado plástico a un estado semisólido y se parte.

### **f.3. EQUIPO**

- Tara
- Balanza eléctrica
- Horno

### **f.4. PROCEDIMIENTO**

- Cerner la muestra en las mallas N°40 Y N° 200 hasta adquirir 150gr de cada una
- Se coge unos 20g de la porción del material que pasa por el tamiz N° 40 se pone el suelo a secar al aire en un plato de evaporación, se combina bien con agua destilada hasta que la masa se vuelva plástica como para hacer una esfera con el material pétreo sin que estas se peguen a las manos también se llegó a conclusión que la muestra que paso la malla N°40 no es plástica
- Se cogerá unos 20gr de porción del material que pasa por el tamiz N°200 se pone el suelo a secar al aire en un plato de vaporación, se combina bien con agua destilada hasta que la masa se vuelva plástica como para hacer una esfera con el material pétreo sin que estas se peguen a las manos.

- Se adapta la mitad de la porción preparada en forma de un elipsoide.
- Se hace rodar con la palma de la mano encima de la lámina de vidrio dándole la forma de pequeños cilindros.
- La fuerza aplicada para hacer rodar la pasta debe ser lo suficiente para obtener las barritas cilíndricas y así mantengan un diámetro uniforme en toda su longitud
- La velocidad con que se maneja la pasta haciéndola rodar debe ser tal de lograr de 60 a 70 impulsos por minuto, comprendiendo como un impulso un movimiento completo de la mano hacia adelante y atrás.
- Si el diámetro de los cilindros es menor de 3 mm y no muestran fisuras o signos de desmenuzamiento, se juntan los trozos y se mezclan nuevamente tantas veces como sea necesario. El trabajo también se repite si las barritas cilíndricas se fisuran y agrietan antes de arribar al diámetro 3 mm.
- En este caso se juntan los trozos y se amasan nuevamente con el agregado de agua hasta lograr la uniformidad.
- El ensayo se da por terminado cuando las barritas cilíndricas empiezan a fisurarse y agrietarse al adquirir los 3 mm de diámetro.
- Las barritas de suelo fisurado deben aglomerarse y colocarse juntas en un recipiente adecuado, el recipiente junto con las muestras debe pesarse con la proximidad de 0.01 y anotar el peso
- El recipiente que contiene la muestra debe colocarse a deshumedecer en el horno hasta peso constante a una temperatura de 110 + 5C (230+- 9°f) y pesarlo, con una proximidad de 0.01gr
- La pérdida de peso se marcará como el peso del agua

### f.5. CÁLCULOS

Se halla el límite plástico como el promedio de las humedades de las muestras, expresado en porcentaje

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso de Agua}}{\text{Peso del suelo secado del horno}} * 100$$

## **g. ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO PARA LOS MATERIALES PÉTREOS DE LA CANTERA EMPLEANDO LA NORMA AASHTO T 89**

### **g.1. OBJETIVO**

Este ensayo tiene como objetivo principal hallar en laboratorio el límite líquido (LL) de un material pétreo, el límite líquido (LL) es el contenido de agua cuando el suelo pasa de un estado líquido a un estado plástico. Este ensayo se realiza con la copa de casa grande.

### **g.2. PRINCIPIO TEÓRICO**

Los límites de Atterberg o límite de consistencia se fundamentan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diversos estados, dependiendo del contenido de agua.

Así un suelo puede localizarse en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido

### **g.3. EQUIPO**

- Tara
- Balanza eléctrica
- Copa de casas grande
- Picetas
- Espátula
- Horno
- Agua destilada

### **g.4. PROCEDIMIENTO**

- Se empleó las muestras que pasaron los tamices N°40 Y N°200 que se componían 150gr cada una
- Deshumedecemos la muestra a 110 a 105 °C.
- Combinamos la muestra con agua destilada, hasta conseguir una apariencia pastosa.
- Dejar reposar como mínimo un lapso de 18h, empleamos una bolsa para que la muestra conserve su humedad.
- Combinamos el suelo con agua destilada.
- Se pone la muestra en el equipo (cono de casa grande), hasta que la muestra este horizontal.
- Partir la muestra, haciendo uso del ranurador.
- Cerramos la muestra con golpes, estos deben ser cercano a 2 golpes por segundo.
  - La primera vez dimos 25 golpes, pero la muestra no cerro.
  - Repetimos el procedimiento, para lo cual humedecemos la copa de Casagrande
  - Ponemos la muestra y la ranuramos.
  - La muestra cerro a los 28 golpes.
  - Una vez que cierra se saca la muestra de la copa Casagrande y se sitúa en taras para luego transportarlo al horno.

## **g.5. CÁLCULOS**

El contenido de agua del suelo será mencionado como contenido de humedad en porcentajes del peso del suelo

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Masa de Agua}}{\text{Masa del suelo secado en el horno}} * 100$$

deshumedecido en horno y se usará la siguiente formula

## **h. PARTÍCULAS PLANAS, PARTÍCULAS ALARGADAS, O PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO**

### **h.1. OBJETIVO**

Se hallará los porcentajes de partículas planas, partículas alargadas o de partículas planas y alargadas en el agregado grueso.

## **h.2. PRINCIPIO TEÓRICO**

Las partículas planas o alargadas de agregado, para utilización en alguna construcción, puede interferir en la consolidación y manifestar en graves dificultades para instalar materiales.

Este método de ensayo abastece una manera para comprobar el cumplimiento de las especificaciones que limitan tales partículas o para hallar la forma relativa característica del agregado grueso.

## **h.3. EQUIPOS Y MATERIALES**

### **h.3.1. EQUIPOS**

- Dispositivo de calibración proporcional
- Balanza

### **h.3.2. MATERIALES**

- Agregado grueso

## **h.4. PROCEDIMIENTO**

- Si se requiere hallar por masa, debe deshumedecerse la muestra en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) hasta masas constante.
- Cerner la muestra de ensayo según el método de ensayo NTG 41010 (C136). Utilizando el material retenido en el tamiz 9.5mm (3/8 pulg) o en el tamiz de 4.75 mm (N°4), como se necesite por la especificación que se esté usando, se debe reducir cada fracción de tamaño presente en una cantidad superior al 10% o más de la muestra, y según con la practica NTG 41010 h11 (c702) hasta que se obtengan próximamente 1010 partículas de cada fracción de tamaño necesitado. Las fracciones de tamaño que comprendan menos del 10% de la masa original total de la muestra, no se someten a ensayo y son descartadas. El Método A ensayar las partículas en cada fracción de tamaño colocarlas en uno de los cuatro grupos siguientes (1) partículas planas (2) partículas alargadas (3) partículas que cumplan con ambos criterios de (1) (2) (4) partículas que no son ni planas ni alargadas y no cumplen con los criterios del grupo (1) ni del grupo (2)
- Método B ensayar las partículas de cada fracción del tamaño y colocarlas en dos grupos (1) planas y alargadas y (2) ni planas ni alargadas.

#### **h.5. RESULTADO**

Hallar el porcentaje de las partículas planas, partículas alargada, o partículas planas y alargadas en el agregado grueso.

### **3.8.5. ASFALTO**

#### **a. ÍNDICE DE PENETRACIÓN DE CEMENTOS ASFALTICOS**

##### **a.1. OBJETIVO**

Hallar la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja estandarizada ingresa verticalmente a una muestra de asfaltó en condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo. cuando no se indican detalladamente otras condiciones, se determina la penetración norma. Esta se efectúa a  $25^{\circ}\text{C}$ , calentando la muestra en un baño de agua termostáticamente controlada, la aguja cargada con 100gr y la carga se suministra durante 5 segundo, la unidad de penetración es la décima de milímetro.

## **a.2. PRINCIPIO TEÓRICO**

El ensayo de penetración halla la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico midiendo el intervalo que una aguja estandarizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones particulares de temperatura, carga y tiempo cuando no se menciona detalladamente otras condiciones especificadas, se percibe que la medida de penetración se hace a 25°C y que la aguja está cargada con 100g y que la carga se aplica durante 5 seg. La penetración hallada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro

### **a.2.1. EQUIPO**

- Probeta
- Moldes
- Penetrometro
- Aguja

### **a.2.2. PROCEDIMIENTO**

- Templar el material en un recipiente, agitándolo para eludir sobrecalentamientos locales y para homogenizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vaciado en los moldes de las probetas.
- Se colma el molde de la probeta calentando a una temperatura equivalente a la del material, hasta una altura que sea superior al menos en 10 mm a la penetración posible.
- Una vez colmado los moldes salvaguardarlos del polvo suprimir las posibles burbujas de aire y dejar enfriar al aire a una temperatura por un lapso de 60 min y 90 minutos
- Hundir el recipiente en el baño de agua a la temperatura controlada de 25°C, durante un lapso de 20 minutos.
- Confirmar que el vástago soporte de la aguja este perfectamente limpio y seco, que se deslice de forma suave sin rozamiento sobre su guía.

- Asegurar la aguja firmemente en su soporte. Se sitúa el peso suplementario de 50gr sobre el vástago para conseguir la masa móvil total de  $100 \pm 0.1\text{gr}$
- Juntar la aguja del Penetrometro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra sin que esta se introduzca.
- Posicionar en cero el Penetrometro y soltar seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el lapso de tiempo especificado.
- Leer y transcribir la distancia que se muestra en decimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra
- Se permite efectuar más perforaciones en la muestra para lo cual se la vuelve a introducir al baño de agua durante un lapso de 15 minutos.
- Para repetir el ensayo se debe tener en cuenta que se las debe efectuar tanto a 10 mm de la perforación inicial y del borde.

### **3.8.6. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL**

#### **a. MÉTODO MARSHALL DEL DISEÑO DE MEZCLA**

Los procedimientos originales de prueba de Marshall son aplicables solamente en mezclas para pavimento de asfalto caliente que contengan agregados de un tamaño máximo de 25 milímetros (1 pulgada o menos)

Las dos características principales del método Marshall son los análisis de densidad y la evaluación de la estabilidad de fluidez de las muestras de prueba.

La estabilidad de las muestras de prueba es la máxima resistencia de carga en newton (libras) que la muestra de prueba estándar ejercerá a  $60^{\circ}\text{C}$  ( $140^{\circ}\text{F}$ ) cuando se evalúa tal como está indicado. El valor de la fluidez es el movimiento total o tensión, en unidades 0.25 mm (1/100 pul) que se produce entre un punto sin carga y el punto de carga máxima durante la prueba de estabilidad.

#### **b. GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DEL AGREGADO (GSB)**

Cuando el agregado total consiste en fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino y llenante con diferentes gravedades específicas, la gravedad específica bulk para el agregado total se calcula empleando la relación.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

$G_{sb}$  = Gravedad específica Bulk para el agregado total

$P_1, P_2, P_n$  = Porcentaje individuales por masa de agregado

$G_1, G_2, G_n$  = Gravedad específica neta individual del agregado.

### c. GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA DEL AGREGADO (GSE)

Cuando se basa en la gravedad específica máxima de una mezcla,  $G_{mm}$ , la gravedad específica efectiva del agregado,  $G_{se}$ , incluye todos los espacios vacíos en las partículas del agregado, excepto aquellos que absorben. La  $G_{se}$  se determina empleando la relación.

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

Donde:

$G_{se}$  = gravedad específica efectiva del agregado

$G_{mm}$  = Gravedad específica máxima de la mezcla sin vacíos de aire (obtenida mediante el ensayo ASTM D 2041 o AASHTO T 209).

$P_{mm}$  = Porcentaje de masa total de la mezcla suelta = 100%

$P_b$  = contenido de asfalto con el cual se determina la  $G_{mm}$  expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla

$G_b$  = gravedad específica del asfalto.

### d. GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA (GMM)

En el diseño de una mezcla asfáltica para un agregado dado se necesitará la gravedad específica máxima,  $G_{mm}$ , con el fin de calcular el porcentaje de aire para cada contenido de asfalto.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

Gmm= gravedad especifica máxima de la mezcla (sin vacíos de aire)

Pmm= porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100%

Ps = contenido de agregado expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla. Ps= 100 – Ps

Pb = contenido de asfalto expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla

Gse= gravedad especifica efectiva del agregado

Gb = gravedad especifica del asfalto

#### e. ABSORCIÓN DE ASFALTO (PBA).

La absorción se expresa como un porcentaje de la masa del agregado y no como un porcentaje del total de la masa de la mezcla. La absorción del asfalto.  $P_{ba}$ , se determina mediante la siguiente relación:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} + G_{se}} \times G_b$$

Donde:

$P_{ba}$  = Asfalto absorbido expresado como porcentaje de la masa del agregado.

Gse= gravedad especifica efectiva del agregado

$G_{sb}$  = gravedad especifica bulk del agregado

Gb= Gravedad especifica del asfalto.

#### f. CONTENIDO EFECTIVO DE ASFALTO (PBE)

Es el volumen total de asfalto menos la cantidad de asfalto absorbido dentro de las partículas del agregado

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s$$

Donde:

Pb = contenido de asfalto %

Pba = asfalto absorbido %

Gb = gravedad específica del asfalto

Ps = % de agregado en la mezcla

#### **g. VACÍOS DE AGREGADO MINERAL(VAM)**

Se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, el cual incluye los vacíos de aire (Va) y el contenido de asfalto efectivo (Pbe), expresado como un porcentaje del volumen total

$$VAM = 100 - \frac{Gmb * Ps}{Gsb}$$

Donde:

Vam= Vacíos de agregado mineral

Gmb = Gravedad Bulk de mezcla compactada.

Ps = % de agregado en la mezcla

Gsb = gravedad específica bulk de la mezcla de agregado.

#### **h. VACÍOS DE AIRE (VA)**

Volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactado, expresado como el porcentaje de volumen neto de la mezcla del pavimento compactado

#### **i. VACÍOS LLENADOS CON ASFALTO (VFA)**

Volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado que es ocupado por el asfalto efectivo.

$$VFA = \frac{100 * (VAM - Va)}{VAM}$$

Donde:

VFA = Vacíos llenados con asfalto.

VAM = Vacíos agregado mineral

Va= Vacíos de aire.

## j. DOSIFICACIÓN DEL ASFALTO

Preparar una serie de muestras de prueba para un rango diferente de contenidos asfálticos para que las curvas a partir de los datos de evaluación muestren relaciones bien definidas. La prueba tiene un incremento de contenido asfáltico DE 0.5 por ciento, dos contenidos asfálticos sobre el valor de diseño que ha sido planeado y uno por debajo del mismo valor

Se puede calcular el valor de diseño, es decir la cantidad de asfalto usando la siguiente expresión:

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F$$

Donde:

P= Contenido aproximado de contenido asfáltico de la mezcla en por ciento al peso de la misma.

A= porcentaje de agregado retenido en un tamiz de 2.36 mm (N°8)

B= (porcentaje de agregado sobrepasando en tamiz de 2.36 mm (N°8) y retenido en el tamiz (N° 200).

C= Porcentaje de agregado que pasa el tamiz (N° 200)

K= 0.15 por 11 – 15 por ciento pasando el tamiz (N°200)

0.18 POR 6 – 100 por ciento pasando el tamiz (N° 200)

0.20 por 5 por ciento o menos pasando por el tamiz N° 200

F= 0 A 2.0 por ciento basado en la absorción de luz o agregado pesado

Si estos datos llegasen a faltar, se sugiere un valor de 0.7 para proveer datos adecuados, al menos tres muestras deben prepararse para cada tipo de contenido asfáltico es importante señalar que el contenido de asfalto puede ser expresado como un porcentaje en peso de mezcla total o como porcentaje en peso de agregado seco.

Tabla III-3 DATOS PARA DOSIFICACION DE ASFALTO

A =	5
B =	86
C =	0
K =	0.2
F =	0.99

Fuente: Propia

Resultado:

$$P = 0.35(5) + 0.0045(86) + (0.2)(0) + 0.99$$

**P = 5.03**

Para este caso se obtiene 5.00% de asfalto razón por la cual se decide realizar incrementos y deducciones, para obtener el contenido óptimo de asfalto para esta combinación de agregados.

Para el porcentaje de agregados pétreos se obtuvo medio de la granulometría que tuvo como resultado el 49.00% de agregado fino y 51.00% de agregado grueso.

Tabla III-4 PORCENTAJE DE ASFALTO

PROPORCIÓN			
TIPO	N°	ASFALTO	%
1	1.1	54.00	4.50
	1.2	54.00	4.50
	1.3	54.00	4.50
2	2.1	60.00	5.00
	2.2	60.00	5.00
	2.3	60.00	5.00
3	3.1	66.00	5.50
	3.2	66.00	5.50
	3.3	66.00	5.50
4	4.1	72.00	6.00
	4.2	72.00	6.00
	4.3	72.00	6.00

Fuente: Geolumas SAC ( ANEXO 5)

## k. PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS DE ENSAYO

Antes de comenzar con la evaluación de criterios, fue necesario hablar sobre la elaboración de briquetas, las cuales se realizaron

bajo el procedimiento planteado en la norma AASHTO T 245 y la aplicación del método Marshall los cuales se detalla en el proyecto.

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de la pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, en este caso se utiliza los porcentajes determinados en la TABLA III.6.

La proporción de agregado en las mezclas esta formulada por los resultados del análisis granulométrico indicada en la TABLA III.6

Tabla III-5 PROPORCIONES PARA LAS MODIFICACIONES EN LOS ENSAYOS MARSHALL

PROPORCIONES UTILIZADAS PARA LAS MODIFICACIONES A LOS ENSAYOS MARSHALL											
TIPO	N°	ASFALTO	%	AGREGADO GRUESO	%	AGREGADO FINO	%	FILLER	%	AGREGADO FINO + FILLER	%
1	1.1	54.00	4.50	593.40	49.45	531.48	44.29	21.12	1.76	552.60	46.05
	1.2	54.00	4.50	593.40	49.45	531.48	44.29	21.12	1.76	552.60	46.05
	1.3	54.00	4.50	593.40	49.45	531.48	44.29	21.12	1.76	552.60	46.05
2	2.1	60.00	5.00	590.40	49.20	528.48	44.04	21.12	1.76	549.60	45.80
	2.2	60.00	5.00	590.40	49.20	528.48	44.04	21.12	1.76	549.60	45.80
	2.3	60.00	5.00	590.40	49.20	528.48	44.04	21.12	1.76	549.60	45.80
3	3.1	66.00	5.50	587.40	48.95	525.48	43.79	21.12	1.76	546.60	45.55
	3.2	66.00	5.50	587.40	48.95	525.48	43.79	21.12	1.76	546.60	45.55
	3.3	66.00	5.50	587.40	48.95	525.48	43.79	21.12	1.76	546.60	45.55
4	4.1	72.00	6.00	584.40	48.70	522.48	43.54	21.12	1.76	543.60	45.30
	4.2	72.00	6.00	584.40	48.70	522.48	43.54	21.12	1.76	543.60	45.30
	4.3	72.00	6.00	584.40	48.70	522.48	43.54	21.12	1.76	543.60	45.30

Fuente: Geolumas SAC (ANEXO 5)

El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2 ½ ") de altura, preparadas como se describe en la norma.

### k.1. PASOS PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

- Se procedió a preparar los materiales con la dosificación de diseño.
- En un recipiente (tara) se pesaron sucesivamente las cantidades de las fracciones de tal modo que la cantidad total árido y asfalto para cada briqueta fuese de 1200 g.
- Se colocó a continuación el recipiente para calentar la dosificación de agregado a una temperatura de 125°C aprox.
- Se colocó la cantidad de asfalto necesaria para la fabricación de las probetas en un recipiente y se llevó a una temperatura de 160°C esto de acuerdo a las propiedades del asfalto utilizado (Asfalto grado Pen 85 100 ) cuya temperatura y compactación a utilizar es de 140°C y de 125°C respectivamente

- Se verterá los agregados en el recipiente para mezclado y se efectuará una mezcla de los mismos, se añadirá por pesada la cantidad exacta de asfalto calculado para la mezcla.
- Manteniendo la temperatura de los materiales dentro de los límites especificados para su mezcla, se iniciará el proceso de mezclado y se continuará hasta que la mezclas se observen homogéneamente cubiertas.
- Preparación del molde y martillo: límpiense meticulosamente el montaje del molde de muestras y el martillo y caliéntese a una temperatura entre los 95°C Y 150°C coloque una pieza de papel de cera y colóquese el mismo en el fondo del modelo previo a la colocación de la mezcla
- La mezcla asfáltica caliente se coloca en el molde pre calentado Marshall como preparación para la compactación, en donde usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no se enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.
- La compactación de las probetas se realizara empleado la máquina y el procedimiento de compactación descrito en la norma AASHTO T 245, sin embargo el número de golpes fue establecido en base a la norma CE 0.10 PAVIMENTOS URBANOS del reglamento nacional de edificaciones, la que en su apartado 4.3 especificaciones técnicas constructivas, establece que el número de golpes deberá ser de 35 vías locales trasmiso liviano 50 vías colectoras arteriales ( tránsito mediano) y 75 vías expresadas (tránsito pesado ) por cara
- Repetir este proceso con todos los porcentajes que se obtuvo
- Después de completarse la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes usando un gato de extrusión u otro dispositivo de compresión, entonces colóquelas sobre una superficie suave y nivelada hasta que se encuentren listas para evaluarse.
- Normalmente las muestras se dejan enfriar por una noche o 24h.
- De las briquetas con distintos porcentajes de asfalto se debe obtener 3 pesos diferentes:
- **Peso en el aire** pesar a las briquetas apenas se las desmolda y apuntar su resultado

- **Peso saturado superficie seca:** sumergiré en agua las briquetas durante un periodo de 15 minutos, sacarlas y secarlas anotando su peso
- **Peso sumergido** tomar el peso de las briquetas sumergidas en agua, dejar estabilizar la lectura del peso durante 15 minutos

## **k.2. ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL BRIQUETA DE 1200 GR**

A cada biqueta después de realizar todo lo anteriormente mencionado se procedió a colocar por 2, 4, 6 hr en el horno, pero a una temperatura de 60°C

Transcurrido las 2,4,6 h se procedió a colocar los diferentes porcentajes de asfalto a la máquina Marshall.

Aplique cargas de prueba a las muestras en una constate proporción de deformación, 51mm (2 pul.) por minuto hasta que alguna falencia se presente. El punto de falencia es definido por la máxima lectura de carga obtenida registrada como el valor de estabilidad Marshall.

Mientras la prueba de estabilidad se encuentra en proceso, sostenga firmemente el medidor de flujos sobre la barra guía marcada y retírelo mientras la medida de carga disminuya, y tome la lectura y registre.

El procedimiento completo para las medidas de estabilidad y fluidez, deberá ser completadas en un periodo de 30segunsos se reporta de estabilidad y flujo.

### **3.8.7. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICAS MODIFICADA CON POLÍMERO SBS**

Se adicionan porcentajes de polímero sbs al porcentaje de asfalto previamente calculado 5 % de asfalto para tránsito previamente estudiado y se escoge el porcentaje con el cual las propiedades de asfalto mejoren en estabilidad y flujo.

#### **a. PROCEDIMIENTO DE MODIFICACIÓN DEL ASFALTO**

- Las dosificaciones de las briquetas de 1200gr es similar a la mezcla en caliente solo en este caso se realizó ya la mezcla asfáltica adicionando el polímero sbs para lo cual se trató de triturar con un molino normal en la mayor parte posible hasta tener partículas más finas para lograr esto se pasa por el

molino unas 5 veces o más a una temperatura de 35°C y así logras la adherencia de asfalto con mayor facilidad

- Se tomaron los pesos del asfalto y polímero y se mezclaron con la ayuda de una batidora de mano simulando ser molino coloidal que se utiliza en las plantas modificadoras de asfalto con esto el polímero reaccione con el asfalto convencional y se forme asfalto modificado con polímero sbs
- Se tomaron los pesos: al aire saturado con superficie seca y saturada sumergida de las briquetas
- Ensayo las muestras en la maquina Marshall y reporto los datos de estabilidad y flujo.

#### **b. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJES ÓPTIMOS PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO EVA**

Se caliente el asfalto convencional a una temperatura constante de 140°C, luego se agrega el polímero una cantidad determinada en % respecto asfalto, luego se empieza a batir por dos horas a temperatura constare luego se agrega el ácido fosfórico una gran cantidad de 0.3% respecto al asfalto y se continúa batiendo por media hora más, esto con la finalidad de que el polímero reaccione con el asfalto convencional y se forme el asfalto modificado con polímero EVA.

#### **c. DETERMINACION DE PORCENTAJES OPTIMOS PARA UNA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBR**

La operación de modificación se lleva a cabo a una temperatura de 160 – 170°C. La adición del látex se realiza mediante una bomba de diafragma que puede ser adicionada mediante aire o motor eléctrico. El tiempo de agitación depende del equipo empleado. Los tiempos normales para todo proceso de látex y mezclado oscilan entre 1.5 y 2 horas.

#### **d. DETERMINACION DE PORCENTAJES OPTIMOS PARA UNA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON CAUCHO**

Se caliente el asfalto convencional a una temperatura constante de 140°C, luego se muele el caucho con un molino hasta llegar a tener la mayor cantidad de partículas finas una cantidad determinada en % respecto asfalto, luego se empieza a batir por dos horas a temperatura constare, esto con la finalidad de que el polímero reaccione con el asfalto convencional y se forme el asfalto modificado con CAUCHO

## e. CRITERIOS ÉTICOS

El trabajo de investigación ordenada de acuerdo al formato brindado recolectado datos de libros textos tesis nacionales extranjeras indicando la pertinencia del autor en las teorías usadas y presentadas en el trabajo presente.

La finalidad de las referencias en los diversos ítems es evitar el plagio de los anteriores trabajos realizados y presentados por los tesisistas.

La información que se utiliza es consultada y analizada por el especialista autor del presente trabajo.

## CAPITULO IV RESULTADOS

### 4.1. ENSAYOS A LOS AGREGADOS

#### 4.1.1. ANALISIS GRANULOMETRICO

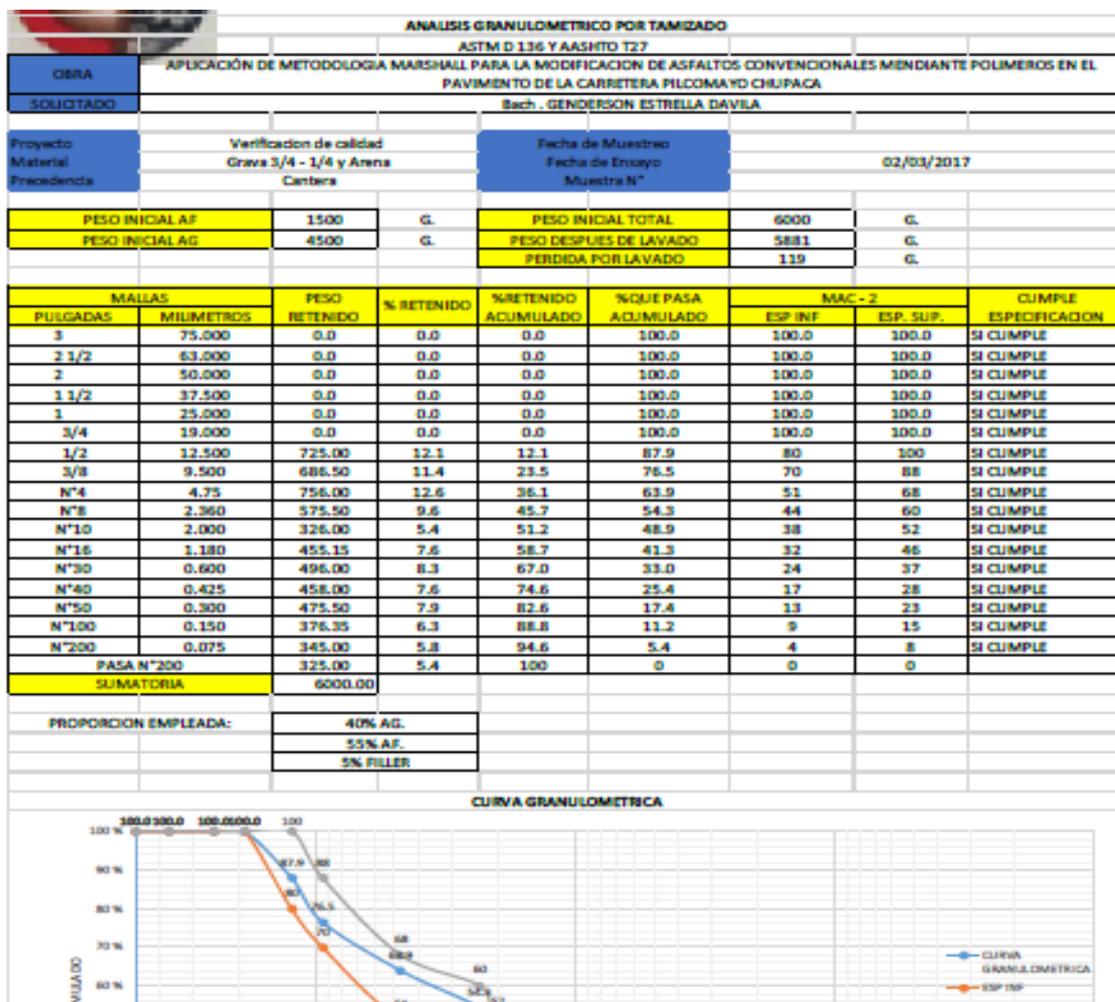




FIGURA IV-2 RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO  
Fuente: Geolumas SAC (ANEXO 4)

### a.1. INTERPRETRACION

En este ensayo se utilizó la máquina de los ángeles para hallar como se desgastan los agregados finos y gruesos, esto se lleva a cabo a través del ensayo de granulometría, que más adelante se insertaran en la máquina.

### 4.1.3. EQUIVALENTE DE ARENA

#### a. CALCULOS Y RESULTADOS:



#### 4. FINOS PLASTICOS EN AGREGADO GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA

FINOS PLASTICOS EN AGREGADO GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA																																								
ASTM D 2419																																								
OBRA	APLICACIÓN DE METODOLOGIA MARSHALL PARA LA MODIFICACION DE ASFALTOS CONVENCIONALES MENDIANTE POLIMEROS EN EL PAVIMENTO DE LA CARRETERA PILCOMAYO CHUPACA																																							
SOLICITADO	Bach. GENDERSON ESTRELLA DAVILA																																							
Proyecto	Verificación de calidad	Fecha de Muestreo																																						
Materia	Arena triturada	Fecha de Ensayo		02/03/2017																																				
Precedencia	Centena	Muestra N°																																						
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>MUESTRA</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hora de Entrada</td> <td>00:00.0</td> <td>00:03.0</td> <td>00:06.0</td> </tr> <tr> <td>Hora de Salida</td> <td>00:10.0</td> <td>00:12.0</td> <td>00:14.0</td> </tr> <tr> <td>Hora de Entrada</td> <td>00:11.2</td> <td>00:14.1</td> <td>00:17.2</td> </tr> <tr> <td>Hora de Salida</td> <td>00:31.2</td> <td>00:34.1</td> <td>00:37.2</td> </tr> <tr> <td>Lectura de Arcilla</td> <td>6.30</td> <td>6.40</td> <td>6.60</td> </tr> <tr> <td>Lectura de Arena</td> <td>3.90</td> <td>3.70</td> <td>3.60</td> </tr> <tr> <td>Equivalente de Arena</td> <td>62.00</td> <td>58.00</td> <td>55.00</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td></td> <td>58.00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			MUESTRA	A	B	C	Hora de Entrada	00:00.0	00:03.0	00:06.0	Hora de Salida	00:10.0	00:12.0	00:14.0	Hora de Entrada	00:11.2	00:14.1	00:17.2	Hora de Salida	00:31.2	00:34.1	00:37.2	Lectura de Arcilla	6.30	6.40	6.60	Lectura de Arena	3.90	3.70	3.60	Equivalente de Arena	62.00	58.00	55.00	Promedio		58.00	
MUESTRA	A	B	C																																					
Hora de Entrada	00:00.0	00:03.0	00:06.0																																					
Hora de Salida	00:10.0	00:12.0	00:14.0																																					
Hora de Entrada	00:11.2	00:14.1	00:17.2																																					
Hora de Salida	00:31.2	00:34.1	00:37.2																																					
Lectura de Arcilla	6.30	6.40	6.60																																					
Lectura de Arena	3.90	3.70	3.60																																					
Equivalente de Arena	62.00	58.00	55.00																																					
Promedio		58.00																																						
Observaciones	Cumple la especificación ya que es mayor al valor mínimo de 50%																																							

FIGURA IV-3 FINOS PLASTICOS EN AGREGADO GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA

FUENTE: Geolumas SAC (ANEXO 4)

### a.1. INTERPRETACION

Con este ensayo se estableció el porcentaje de arena que se pudo encontrar en los agregados finos gracias a la correcta utilización del equipo correspondiente para este ensayo, así mismo se halló lecturas tanto de arcilla y arena.

#### 4.1.4. PARTICULAS FRACTURADAS MECANICAMENTE

##### a. CALCULOS Y RESULTADOS:

 <b>GEOLUMAS SAC</b> MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO		RUC 20568764995				
<b>5. DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO</b>						
ASTM D 5821						
OBRA	APLICACIÓN DE METODOLOGIA MARSHALL PARA LA MODIFICACION DE ASFALTOS CONVENCIONALES MENDIANTE POLIMEROS EN EL PAVIMENTO DE LA CARRETERA PILCOMAYO CHUPACA					
SOLICITADO	Bach. GENDERSON ESTRELLA DAVILA					
Proyecto	Verificación de calidad	Fecha de Muestreo				
Material	Grava 3/4"-1/4"	Fecha de Ensayo	02/03/2017			
Precedencia	Carretera	Muestra N°				
1) CON UNA CARA FRACTURADA:		PESO INICIAL	2000			
TAMAÑO DEL AGREGADO		A(g)	B(g)	C=(B/A)*100	D(%)	E=C* D
PASA	RETENIDO					
3/4"	1/2"	601.60	248.00	41.22	30.58	1260.68
1/2"	3/8"	699.00	275.00	39.34	35.53	1397.93
3/8"	N°4	666.60	199.80	29.97	33.89	1015.66
TOTAL		1967.20	722.80	110.54	100.00	3674.26
PORCENTAJE DE UNA CARA =					36.74	
1) CON DOS CARAS FRACTURADAS:						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A(g)	B(g)	C=(B/A)*100	D(%)	E=C* D
PASA	RETENIDO					
3/4"	1/2"	601.60	159.00	26.43	30.58	808.26
1/2"	3/8"	699.00	196.00	28.04	35.53	996.34
3/8"	N°4	666.60	333.00	49.95	33.89	1692.76
TOTAL		1967.20	688.00	104.42	100.00	3497.36
PORCENTAJE CON DOS CARAS =					34.97	
A= PESO DE LA MUESTRA g.				TOTAL DE CARAS FRACTURADAS		
B= PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS g.						
C= PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS				71.72		
D= PORCENTAJE RETENIDO GRADACION ORIGINAL						
E= PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS						
Observaciones						
CUMPLE LA ESPECIFICACION YA QUE ES MAYOR AL VALOR MINIMO DE 70%						

FIGURA IV-4 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS  
FUENTE: Geolumas SAC (ANEXO 4)

##### a.1. INTERPRETACION

En este ensayo de una determinada muestra de agregado grueso se halló en porcentaje y en peso la cantidad, que mostro una o dos caras fracturadas

#### 4.1.5. PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS

##### a. CALCULOS Y RESULTADOS:

PARTICULAS PLANAS ALARGADAS O PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO															
ASTM D 6781															
OBRA	APLICACIÓN DE METODOLOGIA MARSHALL PARA LA MODIFICACION DE ASFALTOS CONVENCIONALES MEDIANTE POLIMEROS EN EL PAVIMENTO DE LA CARRETERA PILCOMAYO CHUPACA														
SOLICITADO	Bach. GENDERSON ESTRELLA DAVILA														
Proyecto	Verificación de calidad			Punto de Muestreo											
Material	Grava 8/12 - 5/16"			Punto de Trabajo			02/04/2017								
Procedencia	Cantera			Muestra N°											
Masa de partículas: 3															
Cifras de planos y alargados al 100%: 3.881															
Muestras totales de la granulometría (gr): 10000 (g)															
MATERIAL		AGREGADO GRUESO				FINO				ALARGADAS				PLANAS Y ALARGADAS	
GRANULOMETRIA	LIBERADA	RESIDUO	% RET.	% PASA	RESIDUO	% RET.	% PASA	RESIDUO	% RET.	% PASA	RESIDUO	% RET.	% PASA	RESIDUO	% PASA
8/12"		18.09	0	0.00	300.00	0	0.00								
1/2"		11.70	81.00	82.06	87.86	284	6.21	1.99	220	2.07	3.27	80	2.74	0.84	
3/8"		8.79	2660	27.81	62.89	112	8.02	1.13	109	2.89	1.98	64	1.74	0.66	
N° 5		6.74	2160	32.03	89.88	84	2.34	0.88	72	2.88	0.73	18	1.40	0.57	
TOTAL		47.32	300.00	0.00	384	0.80			486	4.87	304	2.32			
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		4732													
PARTICULAS PLANAS, ALARGADAS Y PLANAS Y ALARGADAS		1.87													
Observaciones:															
CUMPLE LA ESPECIFICACION YA QUE ES MENOR AL VALOR MAXIMO DE 10%															

FIGURA IV-5 PARTICULAS PLANAS ALARGADAS O PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN EL AGREGADO  
FUENTE: Geolumas SAC (ANEXO 4)

##### a.1. INTERPRETACION

En este ensayo de una determinada muestra de agregado grueso se halló en porcentaje y en peso, las partículas planas, partículas alargadas y partículas planas y alargadas.

#### 4.1.6. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

##### a. CALCULOS Y RESULTADOS

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS GRUESOS					
ASTM C 127 (AASHTO T 85)					
OBRA	APLICACIÓN DE METODOLOGIA MARSHALL PARA LA MODIFICACION DE ASFALTOS CONVENCIONALES MEDIANTE POLIMEROS EN EL PAVIMENTO DE LA CARRETERA PILCOMAYO CHUPACA				
SOLICITADO	Bach. GENDERSON ESTRELLA DAVILA				
MUESTRA	AGREGADO GRUESO	PESO	2500	TARAS	EM 10
DATOS DE MUESTRA Y TARA A UTILIZAR					
DESCRIPCION	W-T	T	MUESTRA	%	
EM 01 + MUESTRA	2610	110	2500	50	
EM 02 + MUESTRA	2600	100	2500	50	
			5000		
-	Peso de la Muestra Bruta	gr	2500	2500	
A	Peso de la Muestra Superficialmente seca	gr	2688	2678	
-	Peso de la Canasta	gr	917	917	
-	Peso de Canasta + Muestra	gr	3475	3486	
B	Peso en el agua de la	gr	1588	1570	
C	Peso de la Muestra Seca	gr	2667	2656	
T	Peso especifico de agua a la temperatura que se realizó el	gr/cm3	0.999	0.999	
(C/C-B)*T	Peso especifico del materia impermeable de las partículas	gr/cm3	2.469	2.443	
(A/A-B)*T	Peso especifico de las partículas saturadas con superficie seca	gr/cm3	2.441	2.415	
(C/A-B)*T	Peso especifico de las partículas secas	gr/cm3	2.422	2.395	
(A-C/C)*100	Absorcion de agua	%	0.787	0.828	
PROMEDIO					

IR 28 DE JUNIO DE 2017  
(ALTAURA) ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTOS  
RUC. 20568764995, 95688111136, FPM #968111136, CEL 971337776, RPM #97133777

FIGURA IV-6 PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS GRUESOS  
FUENTE: Geolumas SAC (ANEXO 4)

## a.1. INTERPRETACION

Este ensayo es base para la determinación y cálculo de la gravedad específica teórica, de una determinada muestra de agregado grueso se conoce la absorción y la gravedad específica con este ensayo.

### 4.1.7. LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD

#### a. CALCULOS Y RESULTADOS:

LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE PLASTICO						
ASTMD 4313 - AADHO T 89						
OBRA	APLICACIÓN DE METODOLOGIA MARSHALL PARA LA MODIFICACION DE ASFALTOS CONVENCIONALES MENDIANTE POLIMEROS EN EL PAVIMENTO DE LA CARRETERA PILCOMAYO CHUPACA					
SOLICITADO	Bach. GENDERSON ESTRELLA DAVILA					
MUESTRA	AGREGADO FINO	PESO	200			
DATOS DE ENSAYO			LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLASTICO	
1	N° DE TARA		1	2	3	C-1
2	N° DE GOLPES	g	28	30	30	-
3	PESO DE LA MUESTRA HUMENDA	g	60.12	61.24	61.44	25.15
4	PESO DE MUESTRA SECA + TARA	g	53.72	54.44	54.48	25.13
5	PESO DEL AGUA	g	6.4	6.8	6.96	1.02
6	PESO DE TARA	g	23.1	23.1	23.1	19.8
7	PESO DE MUESTRA SECA + TARA	g	30.62	31.34	31.38	5.53
8	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	20.90	21.70	22.18	18.44
			LIMITE LIQUIDO	22.18		
			LIMITE PLASTICO	18.44		
			INDICE DE PLASTICIDAD	3.73		

FIGURA IV-7 LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE PLASTICO

FUENTE: Geolumas SAC (ANEXO 4)

## a.1. INTERPRETACION

En este ensayo el limite liquido se halla entre el surco que se cierra a lo largo de su fondo de una pasta de suelo para el limite plástico e índice de plasticidad se halla con la formación de un cilindro de aproximadamente 3.2mm (1/8) de diámetro haciéndolo rodar con la palma de la mano en una superficie plana sin que se pueda desmoronar y solo se podrá realizar si se conoce el limite liquido del mismo suelo.

El resultado de la diferencia entre el limite líquido y el limite plástico de un suelo es el índice de plasticidad del mismo suelo.

## 4.2. ENSAYO AL ASFALTO:

### 4.2.1. PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS:

#### a. CALCULOS Y RESULTADOS:

INDICE DE PENETRACION DE CEMENTOS ASFALTICOS					
ASTMD 5 (AASHTO T 49)					
OBRA	APLICACIÓN DE METODOLOGIA MARSHALL PARA LA MODIFICACION DE ASFALTOS CONVENCIONALES MENDIANTE POLIMEROS EN EL PAVIMENTO DE LA CARRETERA PILCOMAYO CHUPACA				
SOLICITADO	Bach. GENDERSON ESTRELLA DAVILA				
MUESTRA	ASFALTO	PESO	500	TARAS	EM 15
DESCRIPCION	Wt	Tara	Muestra	%	
TARA + ASFALTO	164	104	60	100	
			60	100	
ENSAYO DE PENETRACION					
N° DE MUESTRA	N° DE PENETRACION	LECTURA	UNIDADES		
1	1	62	0.1 mm		
	2	65	0.1 mm		
	3	59	0.1 mm		
	PROMEDIO	62	0.1 mm		
2	1	65	0.1 mm		
	2	66	0.1 mm		
	3	58	0.1 mm		
	PROMEDIO	63	0.1 mm		
3	1	67	0.1 mm		
	2	66	0.1 mm		
	3	63	0.1 mm		
	PROMEDIO	65.33	0.1 mm		
	Promedio Penetracion	63.44			
	Promedio (mm)	63.44			

ID 78 DE OCTUBRE Nº 49 EL TIEMPO HUANCAYO  
 (ALTURA DEL PUENTE CARRION)  
 ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO. RUC. 20568764995, CEL 968111156, RPM #968111156  
 CEL 971337776, RPM #971337776

FIGURA IV-8 INDICE DE PENETRACION DE CEMENTOS ASFALTICOS  
 FUENTE: Geolumas SAC (ANEXO 4)

#### a.1. INTERPRETACION

En este ensayo aplicado al asfalto se determinó cuál podría ser la consistencia y resistencia del material asfaltico.

### 4.3. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYO A LOS AGREGADOS Y AL ASFALTO

Tabla IV-1 RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS AGREGADOS

ENSAYO	NORMA	EXIGENCIA	RESULTADO DE LABORATORIO
ANALISIS DE TAMAÑO DE PARTICULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO	MTC E 212	MAC-2	SI CUMPLE
RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEO POR IMPACTO Y ABRASION EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES GRAVA 3/4 ARENA TRITURADA	MTC E 207	40% MAX.	16.2% 14.91%
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO	MTC E 210	85/50	36.74/34.97
PARTICULAS PLANAS, PARTICULAS ALARGADAS, O PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO.	ASTM 4791	10% MAX.	9.97%
FINOS PLASTICOS EN AGREGADO GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA.	MTC E 114	60%	58%
ABSORCION AGREGADO GRUESO	MTC E 206	1.0% MAX.	0.808%
INDICE DE PLASTICIDAD ( MALLA N° 200)	MTC E 111	4% MAX.	3.73%
ABSORCION AGREGADO FINO	MTC E 205	0.5% MAX	0.47%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV-2 RESUMEN DE RESULTADOS AL ASFALTO

ENSAYO	NORMA	EXIGENCIA	RESULTAOD DE LABORATORIO
ENSAYO PARA LA PENETRACION DE MATERIAS BITUMINOSOS	ASTM D 5-97	55-70	63.44

Fuente: Elaboración Propia

### 4.4. DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL

#### 4.4.1. DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS:

Una vez realizado el ensayo de análisis granulométrico se obtuvo la siguiente dosificación de agregados un 51.00% material grueso (grava), 49.00% de arena y 1.76% de filler a utilizar.

En la normativa MTC E 204 nos indica el rango mínimo - máximo en la que se debe encontrar nuestra curva granulométrica (ver figura VI.9), en nuestro caso la curva granulométrica se encontró sensiblemente paralela a los límites del rango mínimo de la especificación de la normativa

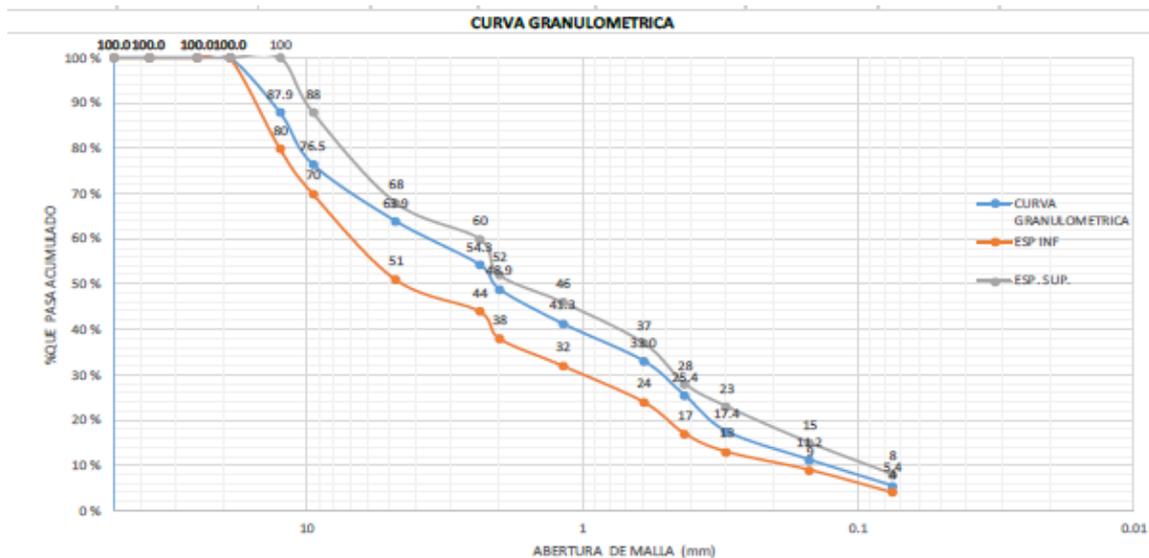


FIGURA IV-9 CURVA GRANULOMETRICA  
FUENTE: Geolumas SAC (ANEXO 4)

#### 4.4.2. DISEÑO DE MEZCLA:

Según la metodología Marshall (aplicada) cuando se tienen un diseño de mezcla de tipo ensayo o de pruebas de asfaltados que pueden ser los siguientes:

El tipo de Asfaltado que se le conoce como convencional (PEN 85/100) se realizaron 12 briquetas, de las cuales para cada contenido de asfalto se utilizaron 3 briquetas (4.5%,5%5.5% y 6%).

ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO EVA (PEN 85/100) se realizaron 45 briquetas, de las cuales para cada contenido de asfalto se utilizaron 15 briquetas (4.5% 5% y 5.5%) y considerándose 3 por contenido de polímero EVA (2,3,4,5 y 6%).

ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBS (PEN 85/100) se realizaron 45 briquetas, de las cuales para cada contenido de asfalto se utilizaron 15 briquetas (4.5% 5% y 5.5%) y considerándose 3 por contenido de polímero SBS (2,3,4,5 y 6%).

ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBR (PEN 85/100) se realizaron 45 briquetas, de las cuales para cada contenido de asfalto se utilizaron 15 briquetas (4.5% 5% y 5.5%) y considerándose 3 por contenido de polímero SBR (2,3,4,5 y 6%).

ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO (PEN 85/100) se realizaron 45 briquetas, de las cuales para cada contenido de asfalto se

utilizaron 15 briquetas (4.5% 5% y 5.5%) y considerándose 3 por contenido de CAUCHO (2,3,4,5 y 6%).

Después de haber realizado, se tiene las siguientes muestras que es de cada tipo de asfaltado más utilizado (Sin modificar, EVA, SBS, SBR Y CAUCHO), y por cada porcentaje de asfalto (4.5% 5% 5.5%) siendo este porcentaje el rango para seleccionar al asfalto, así como el tipo, que logro cumplir con los parámetros establecidos por la norma, llamándose a este resultado la mezcla óptima.

#### 4.4.3. ELABORACIÓN DE BRIQUETAS:

Primero fue necesario realizar se conoce a la norma AASHTO T 245 sobre la elaboración de briquetas las cuales se realizaron bajo el y la aplicación de la metodología Marshall.

Como se menciona en la norma que se desarrollad con la elaboración de probetas cilíndricas de 101.6mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2 ½") de altura.

Así mismo, se da a conocer los resultados obtenidos de cada briqueta analizada en cada tipo y porcentaje de asfalto.

#### 4.4.4. ASFALTO CONVENCIONAL

##### a. DENSIDAD BULK:

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Primero se midió la altura del espécimen con mucha precisión, también, se midió su diámetro en cuatro sitios diferentes y se calculó su promedio, tal cual, establece el procedimiento.

Para hallar el volumen de la muestra que tiene forma cilíndrica se calculara con la altura promedio y el diámetro promedio, mediante la siguiente expresión

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

Una vez calculado el volumen se puede estimar la densidad de la probeta y así convertir la densidad bulk en gravedad especifica bulk, dividiendo por 0.99707 g/ cm<sup>3</sup> la densidad del agua a 25°C(77°F). Finalmente, se muestra las mediciones que se realizó a cada briqueta y su densidad bulk por contenido de asfalto, se desarrollará el cálculo de una briqueta.

### a.1. EJEMPLO

Contenido de asfalto 4.5%

Briqueta 1

M = 1163 g

D promedio = 10.031 cm

H promedio = 6.34 cm

Calculando el volumen se tiene:

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi (10.031)^2 (6.34)}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 501.04 \text{ cm}^3$$

Para la densidad:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\text{Densidad} = \frac{1163}{501.04}$$

$$\text{Densidad} = 2.321 \text{ g/cm}^3$$

Dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> (Densidad del agua a 25° C)  
para obtener gravedad especifica Bulk (Geb):

$$\text{Geb} = \frac{2.321 \text{ g/cm}^3}{0.99707 \text{ g/cm}^3}$$

$$\text{Geb} = 2.328$$

De la misma manera se realizará el cálculo de la gravedad específica para las demás briquetas y se promedian los valores obtenidos.

Este cálculo debe de realizarse por cada contenido de asfalto. En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para cada briketa analizada y por cada uno de los contenidos de asfalto.

## a.2. TABLAS DE CALCULO DE DENSIDAD BULK

Tabla IV-3 PARA 4.5% DE ASFALTO

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
BRIQUETA N° 1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.040	h1	6.150	1158	486.89	2.378
d2	10.030	h2	6.140	GEB	2.385	
d3	10.050	h3	6.150			
d4	10.040	h4	6.160			
PROMEDIO	10.040	PROMEDIO	6.150			
BRIQUETA N° 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.030	h1	6.340	1163	501.04	2.321
d2	10.032	h2	6.330	GEB	2.328	
d3	10.029	h3	6.360			
d4	10.033	h4	6.330			
PROMEDIO	10.031	PROMEDIO	6.340			
BRIQUETA N° 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.050	h1	6.400	1174	509.93	2.302
d2	10.059	h2	6.420	GEB	2.309	
d3	10.051	h3	6.400			
d4	10.050	h4	6.480			
PROMEDIO	10.053	PROMEDIO	6.425			
PROMEDIO				GEB	2.341	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

Tabla IV-4 PARA 5.0% DE ASFALTO

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.00%		
BRIQUETA N° 1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.140	h1	6.150	1200	496.64	2.416
d2	10.130	h2	6.140	GEB	2.423	
d3	10.150	h3	6.150			
d4	10.140	h4	6.160			
PROMEDIO	10.140	PROMEDIO	6.150			
BRIQUETA N° 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.070	h1	6.300	1209	501.75	2.410
d2	10.069	h2	6.320	GEB	2.417	
d3	10.071	h3	6.300			
d4	10.070	h4	6.280			
PROMEDIO	10.070	PROMEDIO	6.300			
BRIQUETA N° 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.030	h1	6.440	1175	508.94	2.309
d2	10.032	h2	6.430	GEB	2.316	
d3	10.029	h3	6.460			
d4	10.033	h4	6.430			
PROMEDIO	10.031	PROMEDIO	6.440			
PROMEDIO				GEB	2.385	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

Tabla IV-5 PARA 5.5% DE ASFALTO

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.50%		
BRIQUETA N° 1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.110	h1	6.600	1215	530.09	2.292
d2	10.120	h2	6.620	GEB	2.299	
d3	10.100	h3	6.600			
d4	10.120	h4	6.580			
PROMEDIO	10.113	PROMEDIO	6.600			
BRIQUETA N° 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	9.900	h1	6.140	1198	473.12	2.532
d2	9.930	h2	6.120	GEB	2.540	
d3	9.900	h3	6.140			
d4	9.890	h4	6.160			
PROMEDIO	9.905	PROMEDIO	6.140			
BRIQUETA N° 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.120	h1	6.290	1150	506.75	2.269
d2	10.100	h2	6.300	GEB	2.276	
d3	10.120	h3	6.300			
d4	10.140	h4	6.310			
PROMEDIO	10.120	PROMEDIO	6.300			
PROMEDIO				GEB	2.371	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

Tabla IV-6 PARA 6.0% DE ASFALTO

PORCENTAJE DE ASFALTO				6.00%		
BRIQUETA N° 1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.160	h1	6.600	1187	535.08	2.218
d2	10.170	h2	6.580	GEB	2.225	
d3	10.150	h3	6.620			
d4	10.160	h4	6.600			
PROMEDIO	10.160	PROMEDIO	6.600			
BRIQUETA N° 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.150	h1	6.170	1183	497.27	2.379
d2	10.110	h2	6.160	GEB	2.386	
d3	10.120	h3	6.170			
d4	10.140	h4	6.180			
PROMEDIO	10.130	PROMEDIO	6.170			
BRIQUETA N° 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.100	h1	6.100	1152	489.17	2.355
d2	10.120	h2	6.100	GEB	2.362	
d3	10.100	h3	6.120			
d4	10.090	h4	6.090			
PROMEDIO	10.103	PROMEDIO	6.103			
PROMEDIO				GEB	2.324	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

## **b. GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA:**

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos por cada contenido de asfalto.

### **b.1. TABLAS DE GRAVEDAD ESPECIFICAS MAXIMA**

Tabla IV-7 PARA 4.5% DE ASFALTO

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8153
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9621
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1032
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.422

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

Tabla IV-8 PARA 5.0% DE ASFALTO

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.00%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8153
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9638
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1015
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.463

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

Tabla IV-9 PARA 5.5% DE ASFALTO

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8153
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9649
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1004
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.490

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

Tabla IV-10 PARA 6.0% DE ASFALTO

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	6.00%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8153
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9637
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1016
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.461

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

### c. CALCULO DE VACÍOS

Una vez obtenido la gravedad especifica bulk y la gravedad especifica máxima teórica que se halló anteriormente, se puede hallar el contenido de vacíos por cada contenido de asfalto con la siguiente formula:

$$\text{vacíos} = \frac{G_{em} - G_{eb}}{G_{em}} \times 100$$

$G_{em}$  = Gravedad especifica máxima teoría

$G_{eb}$  = gravedad especifica bulk (calor promedio)

#### c.1. EJEMPLO

$$G_{eb} = 2.324$$

$$G_{em} = 2.461$$

Reemplazando en la fórmula de vacíos se tiene:

$$\text{Vacíos} = \frac{2.461 - 2.324}{2.461} \times 100$$

$$\text{Vacíos} = 5.54\%$$

Este cálculo se volverá hacer para los otros contenidos de asfaltos, como se muestra en la siguiente tabla los resultados obtenidos:

Tabla IV-11 CONTENIDO DE VACIOS PARA 4.5%, 5.0%, 5.5% Y 6.0% DE ASFALTO

% DE ASFALTO	VACIOS
4.50%	3.37%
5.00%	3.16%
5.50%	4.76%
6.00%	5.54%

#### d. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO):

Se realizaron 3 probetas por cada contenido de asfalto, este ensayo se ejecutó procurando que el rango de la temperatura este comprendida entre 15° y 30°C, teniendo como tolerancia máxima de +- 1°C después de esto se halló la masa de cada probeta con una aproximación de 0.1g como se menciona en la norma.

Continuando con el procedimiento se inserto una probeta en el bombo de la máquina de los ángeles, se hizo girar el bombo a velocidad de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm) como se realizó para ensayo de desgaste de agregados cabe aclarar que fue sin la carga abrasiva de las bolas y durante 300 vueltas, finalmente se extrajo la probeta del bombo para así hallar de nuevo su masa con la aproximación de 0.1g.

Con la siguiente formula se halló la perdida por desgaste por cada probeta ensayada:

$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

Donde:

P= valor de la perdida por desgaste, en %

W1= masa inicial de la probeta, en gramos

W2= masa final de la probeta, en gramos

Finalmente se halló el promedio de las 3 probetas ensayadas, para cada contenido de asfalto.

##### d.1. EJEMPLO:

Contenido de asfalto 5.5%

Briqueta 1:

W1 = 1158 gr

W2= 939 gr

Evaluando la perdida se tiene:

$$P = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

$$P = \frac{1158 - 939}{1158} \times 100$$

$$P = 18.91\%$$

Para obtener la pérdida por desgaste promedio se desarrollara el proceso antes realizado siendo este repetitivo para las demás briquetas promediando el valor obtenido:

## d.2. TABLAS DE DESGASTE DE LOS ANGELES A LA MEZCLA

Tabla IV-12 PARA 4.5% DE ASFALTO

CONTENIDO DE POLIMERO					4.5%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26	25	1158.00	939	18.91	19.80
2	26	25	1163.00	931	19.95	
3	26	26	1174.00	933	20.53	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

Tabla IV-13 PARA 5.0% DE ASFALTO

CONTENIDO DE POLIMERO					5.0%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26	26	1200.00	860	28.33	27.44
2	26	25	1209.00	863	28.62	
3	26	26	1175.00	877	25.36	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

Tabla IV-14 PARA 5.5% DE ASFALTO

CONTENIDO DE POLIMERO					5.5%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26	25	1215.00	939	22.72	20.64
2	26	25	1198.00	946	21.04	
3	26	25	1150.00	941	18.17	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

Tabla IV-15 PARA 6.0% DE ASFALTO

CONTENIDO DE POLIMERO					6.0%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26	25	1187.00	886	25.36	24.51
2	26	26	1183.00	880	25.61	
3	26	25	1152.00	892	22.57	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

## e. RESULTADOS MARSHALL

Tabla IV-16 RESULTADOS ESTABILIDAD MARSHALL SIN MODIFICAR

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL									
BRIQUETAS	% DE ASFALTO	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
1	4.50%	486.89	14	3.6	133	61.50	1.053	455.88	480
2	4.50%	501.04	14	3.6	128	63.40	1.003	438.73	440
3	4.50%	509.93	13	3.3	126	64.25	0.98	431.68	423
PROMEDIO				<b>3.50</b>					<b>448</b>
1	5.00%	496.64	9	2.3	162	61.50	1.053	555.31	585
2	5.00%	501.75	10	2.5	152	63.00	1.013	521.03	528
3	5.00%	508.94	8	2	149	64.40	0.977	510.74	499
PROMEDIO				<b>2.27</b>					<b>537</b>
1	5.50%	530.09	8	2	282	66.00	0.938	966.77	907
2	5.50%	473.12	8	2	279	61.40	1.056	956.91	1010
3	5.50%	506.75	9	2.3	253	63.00	1.013	867.34	879
PROMEDIO				<b>2.10</b>					<b>932</b>
1	6.00%	535.08	6	1.5	362	66.00	0.938	1241.08	1164
2	6.00%	497.27	8	2	392	61.70	1.046	1343.94	1406
3	6.00%	489.17	9	2.3	332	61.03	1.065	1138.21	1212
PROMEDIO				<b>1.93</b>					<b>1261</b>

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

### e.1. INTERPRETACION

Esta tabla nos muestra los resultados de las lecturas de flujo, la conversión del flujo en (mm) y la lectura de estabilidad, para la estabilidad corregida se empleó el factor de conversión adquirida en la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) esta depende de la altura de la briqueta; dando el resultado en kilogramos. Se tendrá la misma estructura para las demás combinaciones de porcentajes de asfalto en el caso de asfalto sin modificar y en el caso de asfalto modificado en los porcentajes de polímeros.

Tabla IV-17 RESUMEN DE RESULTADOS ENSAYO MARSHALL

RESULTADOS ENSAYOS MARSHALL														
BRIQUETA	% ASFALTO	PESO AIRE	PESO SATURADO	PESO EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	Gmb	Gmm	V.a	VAM	VAF	ESTABILIDAD			FLUJO 0.01"
											MEDIDA	CORREC	CORREGIDA	
1	4.50%	1158.00	1158.73	671	486.89	2.38	2.31	3.37%	10.33	51.88	455.88	1.053	480.04	14
2	4.50%	1163.00	1163.87	664	501.04	2.32	2.31	3.37%	11.07	55.08	438.73	1.003	440.05	14
3	4.50%	1174.00	1174.90	681	509.93	2.30	2.31	3.37%	6.04	17.74	431.68	0.98	423.05	13
						2.33	2.31	3.37%	9.15	41.57	442.10	1.01	447.71	14
1	5.00%	1200.00	1201.26	665	496.64	2.42	2.32	3.16%	8.98	49.57	555.31	1.053	584.74	9
2	5.00%	1209.00	1210.14	690	501.75	2.41	2.32	3.16%	8.01	43.45	521.03	1.013	527.80	10
3	5.00%	1175.00	1176.23	658	508.94	2.31	2.32	3.16%	7.06	35.84	510.74	0.977	498.99	8
						2.38	2.32	3.16%	8.02	42.95	529.03	1.01	537.18	9
1	5.50%	1215.00	1216.32	655	530.09	2.29	2.29	4.76%	7.84	45.03	966.77	0.938	906.83	8
2	5.50%	1198.00	1199.17	690	473.12	2.53	2.29	4.76%	8.18	47.3	956.91	1.056	1010.50	8
3	5.50%	1150.00	1151.26	665	506.75	2.27	2.29	4.76%	11.49	62.5	867.34	1.013	878.62	9
						2.36	2.29	4.76%	9.17	51.61	930.34	1.00	931.98	8
1	6.00%	1187.00	1187.92	663	535.08	2.22	2.25	5.54%	13.8	69.46	1241.08	0.938	1164.13	6
2	6.00%	1183.00	1184.07	680	497.27	2.38	2.25	5.54%	7.56	44.24	1343.94	1.046	1405.76	8
3	6.00%	1152.00	1153.03	658	489.17	2.36	2.25	5.54%	10.99	61.64	1138.21	1.065	1212.19	9
						2.32	2.25	5.54%	10.78	58.45	1241.08	1.02	1260.70	8

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 5)

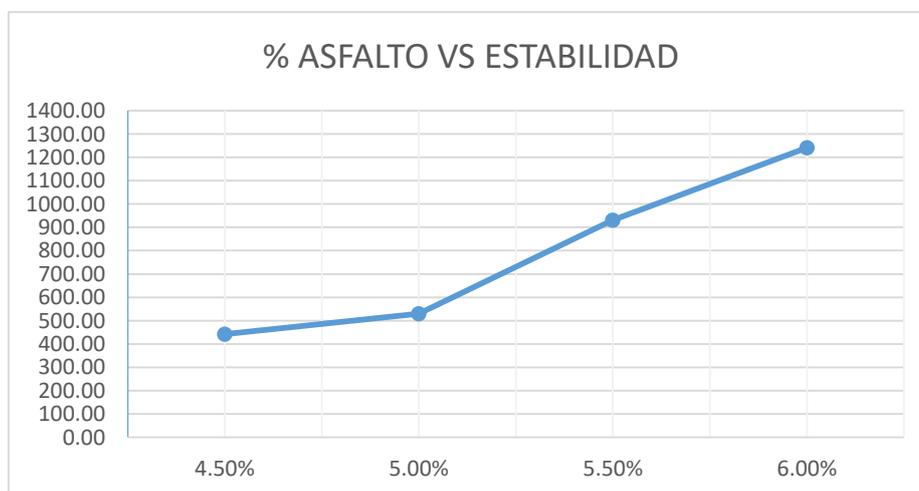


FIGURA IV-10 % ASFALTO VS ESTABILIDAD  
Fuente: Elaboración Propia de los resultados obtenidos.

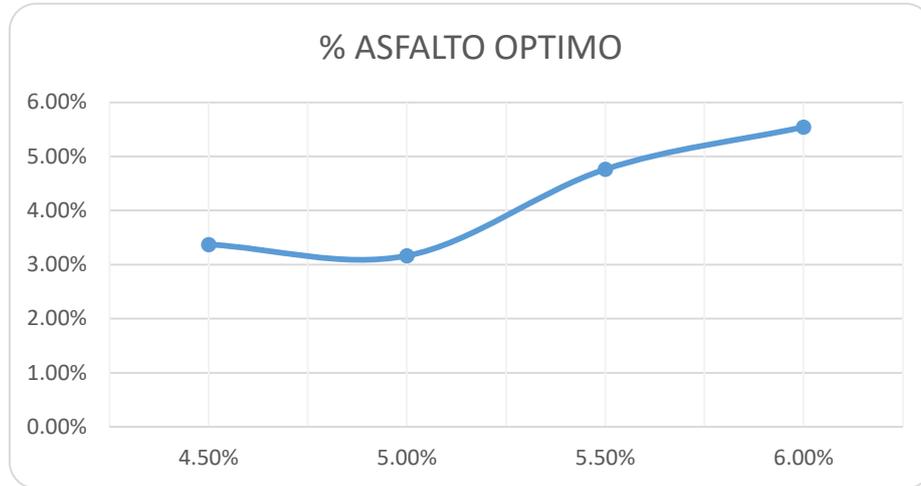


FIGURA IV-11 % ASFALTO OPTIMO  
Fuente: Elaboración Propia de los resultados obtenidos.

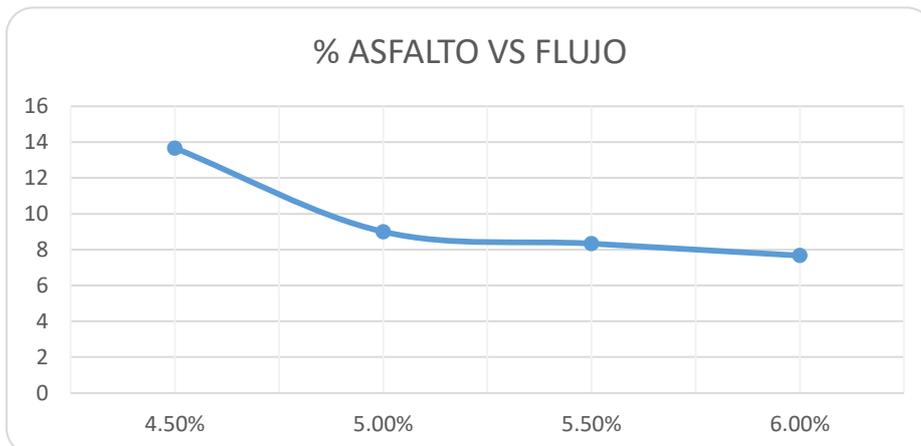


FIGURA IV-12 % ASFALTO VS FLUJO  
Fuente: Elaboración Propia de los resultados obtenidos.

## e.2. INTERPRETACION

Esta tabla nos muestra los resultados del cálculo de las estabilidades y flujos así mismo de esta tabla de resultados podemos realizar las siguientes figuras IV.10, IV.11, IV.12 con los vs respectivos que darán origen a hallar el porcentaje óptimo de asfalto según el ensayo Marshall y para el transito encontrado en nuestra unidad de análisis.

#### 4.4.5. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO EVA:

Para realizar el asfalto modificado se dedujo el procedimiento de cálculo teniendo como ejemplo 4.5% de contenido de asfalto y los diferentes porcentajes de polímero EVA.

#### a. PROPORCIONES DE AGREGADOS PARA CADA PORCENTAJE DE POLIMERO.

##### a.1. TABLAS DE PROPORCIONES DE AGREGADOS

Tabla IV-18 4.5% DE ASFALTO CON 2% DE POLIMERO EVA

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.45%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.29%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO EVA	54.00	54.00
AGREGADO GRUESO	593.40	593.40
AGREGADO FINO	531.48	552.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		<b>52.80</b>
POLIMERO EVA:	2.00%	1.08
ACIDO FOSFORICO:	0.23%	0.12
TOTAL		54.00

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-19 4.5% DE ASFALTO CON 3% DE POLIMERO EVA

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.45%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.29%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO EVA	54.00	54.00
AGREGADO GRUESO	593.40	593.40
AGREGADO FINO	531.48	552.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		<b>52.18</b>
POLIMERO EVA:	3.00%	1.62
ACIDO FOSFORICO:	0.37%	0.20
TOTAL		54.00

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-20 4.5% DE ASFALTO CON 4% DE POLIMERO EVA

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.45%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.29%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO EVA	54.00	54.00
AGREGADO GRUESO	593.40	593.40
AGREGADO FINO	531.48	552.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		<b>51.58</b>
POLIMERO EVA:	4.00%	2.16
ACIDO FOSFORICO:	0.48%	0.26
TOTAL		54.00

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6).

Tabla IV-21 4.5% DE ASFALTO CON 5% DE POLIMERO EVA

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.45%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.29%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO EVA	54.00	54.00
AGREGADO GRUESO	593.40	593.40
AGREGADO FINO	531.48	552.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		<b>50.98</b>
POLIMERO EVA:	5.00%	2.70
ACIDO FOSFORICO:	0.50%	0.32
TOTAL		54.00

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6).

Tabla IV-22 4.5% DE ASFALTO CON 6% DE POLIMERO EVA

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.45%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.29%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO EVA	54.00	54.00
AGREGADO GRUESO	593.40	593.40
AGREGADO FINO	531.48	552.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		<b>50.37</b>
POLIMERO EVA:	6.00%	3.24
ACIDO FOSFORICO:	0.72%	0.39
TOTAL		54.00

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

## b. DENSIDAD BULK:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Primero se mide la altura, el diámetro en cuatro sitios y finalmente se realizó el cálculo del promedio, tal cual, establece el procedimiento.

Para hallar el volumen de la muestra que tiene forma cilíndrica se calcula con la altura promedio y el diámetro promedio, mediante la siguiente expresión

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

Una vez calculado el volumen se puede conocer de forma práctica mediante los ensayos y pruebas, para convertir la densidad bulk, el cual está dividido por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> y la densidad del agua que es 25°C a (77°F)

Finalmente, se muestra las mediciones que se realizó a cada briqueta y su densidad bulk por contenido de asfalto, se desarrollará el cálculo de una briqueta.

### b.1. EJEMPLO

Contenido de polímero 6% en 4.5% de asfalto

Briqueta 1

$$M = 1185 \text{ g}$$

$$D \text{ promedio } 9.908 \text{ cm}$$

$$H \text{ promedio } = 6.405 \text{ cm}$$

Calculando el volumen se tiene:

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi (9.908)^2 (6.405)}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 493.79 \text{ cm}^3$$

Para la densidad

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\text{Densidad} = \frac{1185}{493.79}$$

$$\text{Densidad} = 2.400 \text{ g/cm}^3$$

Dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> Densidad del agua a 25° C)  
para obtener gravedad específica Bulk (Geb):

$$G_{eb} = \frac{2.400 \text{ g/cm}^3}{0.99707 \text{ g/cm}^3}$$

$$G_{eb} = 2.407$$

De la misma manera se realizará el cálculo de la gravedad específica para las demás briquetas y se promedian los valores obtenidos.

Este cálculo debe de realizarse por cada contenido de asfalto. En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para cada briketa analizada y por cada uno de los contenidos de asfalto.

## b.2. TABLAS DE DENSIDAD BULK

Tabla IV-20 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO EVA

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
<b>BRIQUETA N° 1</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	9.780	h1	6.410	1191	494.88	2.407
d2	9.850	h2	6.500	GEB	2.414	
d3	9.980	h3	6.410			
d4	9.910	h4	6.500			
PROMEDIO	9.880	PROMEDIO	6.455			
<b>BRIQUETA N° 2</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.650	h1	6.300	1185	525.94	2.253
d2	10.060	h2	6.500	GEB	2.260	
d3	10.120	h3	6.410			
d4	10.070	h4	6.410			
PROMEDIO	10.225	PROMEDIO	6.405			
<b>BRIQUETA N° 3</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	9.720	h1	6.410	1177	492.19	2.391
d2	9.970	h2	6.500	GEB	2.398	
d3	9.980	h3	6.310			
d4	9.950	h4	6.330			
PROMEDIO	9.905	PROMEDIO	6.388			
PROMEDIO				GEB	2.357	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-21 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% DE POLÍMERO EVA

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
BRIQUETA N° 1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	9.800	h1	6.310	1178	478.46	2.462
d2	9.900	h2	6.300	GEB	2.469	
d3	9.800	h3	6.300			
d4	9.920	h4	6.180			
PROMEDIO	9.855	PROMEDIO	6.273			
BRIQUETA N° 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.200	h1	6.360	1195	499.54	2.392
d2	10.100	h2	6.330	GEB	2.399	
d3	10.000	h3	6.150			
d4	10.100	h4	6.100			
PROMEDIO	10.100	PROMEDIO	6.235			
BRIQUETA N° 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	9.850	h1	6.300	1191	474.79	2.509
d2	9.700	h2	6.180	GEB	2.516	
d3	9.950	h3	6.180			
d4	9.910	h4	6.250			
PROMEDIO	9.853	PROMEDIO	6.228			
PROMEDIO				GEB	2.461	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-22 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% DE POLÍMERO EVA

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
BRIQUETA N° 1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	9.780	h1	6.500	1185	504.69	2.348
d2	10.120	h2	6.290	GEB	2.355	
d3	10.110	h3	6.500			
d4	10.110	h4	6.260			
PROMEDIO	10.030	PROMEDIO	6.388			
BRIQUETA N° 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	9.700	h1	6.510	1179	491.10	2.401
d2	9.800	h2	6.760	GEB	2.408	
d3	9.750	h3	6.450			
d4	9.810	h4	6.510			
PROMEDIO	9.765	PROMEDIO	6.558			
BRIQUETA N° 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	9.750	h1	6.200	1186	470.82	2.519
d2	9.800	h2	6.350	GEB	2.526	
d3	9.710	h3	6.400			
d4	9.720	h4	6.300			
PROMEDIO	9.745	PROMEDIO	6.313			
PROMEDIO				GEB	2.430	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

<

Tabla IV-23 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% DE POLÍMERO EVA

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
BRIQUETA N° 1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	9.920	h1	6.300	1195	484.02	2.469
d2	9.930	h2	6.050	GEB	2.476	
d3	9.910	h3	6.350			
d4	9.920	h4	6.350			
PROMEDIO	9.920	PROMEDIO	6.263			
BRIQUETA N° 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.100	h1	6.470	1189	513.08	2.317
d2	10.020	h2	6.450	GEB	2.324	
d3	10.100	h3	6.480			
d4	10.020	h4	6.420			
PROMEDIO	10.060	PROMEDIO	6.455			
BRIQUETA N° 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	9.980	h1	6.100	1089	459.46	2.370
d2	10.000	h2	5.700	GEB	2.377	
d3	10.020	h3	5.800			
d4	10.000	h4	5.800			
PROMEDIO	10.000	PROMEDIO	5.850			
PROMEDIO				GEB	2.393	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-24 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% DE POLÍMERO EVA

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
BRIQUETA N° 1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	9.900	h1	6.280	1185	493.79	2.400
d2	9.900	h2	6.500	GEB	2.407	
d3	9.930	h3	6.460			
d4	9.900	h4	6.380			
PROMEDIO	9.908	PROMEDIO	6.405			
BRIQUETA N° 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.150	h1	6.560	1190	520.61	2.286
d2	10.000	h2	6.520	GEB	2.293	
d3	10.120	h3	6.530			
d4	10.000	h4	6.550			
PROMEDIO	10.068	PROMEDIO	6.540			
BRIQUETA N° 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	9.900	h1	6.450	1178	488.45	2.412
d2	9.850	h2	6.410	GEB	2.419	
d3	9.810	h3	6.380			
d4	9.840	h4	6.400			
PROMEDIO	9.850	PROMEDIO	6.410			
PROMEDIO				GEB	2.373	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

### c. GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA:

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos por cada contenido de asfalto.

#### c.1. TABLAS DE GRAVEDADES ESPECIFICAS

Tabla IV-25 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO EVA

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9645
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1018
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.456

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-26 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO EVA

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9660
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1003
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.493

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-27 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO EVA

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9653
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1010
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.475

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-28 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO EVA

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9643
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1020
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.451

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-29 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO EVA

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9639
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1024
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.441

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

#### d. CALCULO DE VACÍOS

Una vez obtenido la gravedad especifica bulk y la gravedad especifica máxima teórica que se halló anteriormente, se puede hallar el contenido de vacíos por cada contenido de asfalto con la siguiente formula:

$$vacíos = \frac{G_{em} - G_{eb}}{G_{em}} \times 100$$

$G_{em}$  = Gravedad especifica máxima teoría

$G_{eb}$  = gravedad especifica bulk (calor promedio)

##### d.1. EJEMPLO

$$G_{eb} = 2.373$$

$$G_{em} = 2.441$$

Reemplazando en la fórmula de vacíos se tiene:

$$\text{Vacíos} = \frac{2.441 - 2.373}{2.441} \times 100$$

$$\text{Vacíos} = 2.81\%$$

Este cálculo se volverá hacer para los otros contenidos de asfaltos, como se muestra en la siguiente tabla los resultados obtenidos:

Tabla IV-30 CALCULO DE VACIOS PARA 2,3,4,5 Y 6% DE POLIMERO EVA EN 4.5% DE ASFALTO

% DE ASFALTO	% EVA	VACIOS
4.50%	2.00%	4.01%
4.50%	3.00%	1.25%
4.50%	4.00%	1.84%
4.50%	5.00%	2.39%
4.50%	6.00%	2.81%

### e. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO):

Se realizaron 3 probetas por cada contenido de asfalto, este ensayo se ejecutó procurando que el rango de la temperatura este comprendida entre 15° y 30°C, teniendo como tolerancia máxima de +- 1°C después de esto se halló la masa de cada probeta con una aproximación de 0.1g como se menciona en la norma.

Continuando con el procedimiento se insertó una probeta en el bombo de la máquina de los ángeles, se hizo girar el bombo a velocidad de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm) como se realizó para ensayo de desgaste de agregados cabe aclarar que fue sin la carga abrasiva de las bolas y durante 300 vueltas, finalmente se extrajo la probeta del bombo para así hallar de nuevo su masa con la aproximación de 0.1g.

Con la siguiente formula se halló la perdida por desgaste por cada probeta ensayada:

$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

Donde:

P= valor de la perdida por desgaste, en %

W1= masa inicial de la probeta, en gramos

W2= masa final de la probeta, en gramos

Finalmente se halló el promedio de las 3 probetas ensayadas, para cada contenido de asfalto.

#### e.1. EJEMPLO:

Contenido de polímero 6% con 4.5% de asfalto

Briqueta 1:

W1 = 1185 gr

W2 = 1013 gr

Evaluando la perdida se tiene:

$$P = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

$$P = \frac{1185 - 1013}{1185} \times 100$$

$$P = 14.51\%$$

Para obtener la pérdida por desgaste promedio se desarrollará el proceso antes realizado siendo este repetitivo para las demás briquetas promediando el valor obtenido:

## e.2. TABLAS DE DESGASTE DE LOS ANGELES A LA MEZCLA

Tabla IV-31 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO EVA

CONTENIDO DE POLIMERO : EVA					2.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26	25	1191	991	16.79	16.29
2	26	25	1185	990	16.46	
3	25	25	1177	993	15.63	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-32 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO EVA

CONTENIDO DE POLIMERO : EVA					3.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26	26	1178	1005	14.69	15.04
2	26	25	1195	1009	15.56	
3	26	26	1191	1014	14.86	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-33 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO EVA

CONTENIDO DE POLIMERO : EVA					4.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26	25	1185	1005	15.19	14.70
2	26	25	1179	1010	14.33	
3	26	25	1186	1013	14.59	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-34 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO EVA

CONTENIDO DE POLIMERO : EVA					5.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	25	25	1195	1045	12.55	13.82
2	25	25	1189	915	23.04	
3	25	24	1089	1025	5.88	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

Tabla IV-35 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO EVA

CONTENIDO DE POLIMERO : EVA					6.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26.5	26.5	1185	1013	14.51	12.94
2	26	25	1190	1031	13.36	
3	26	26	1178	1049	10.95	

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

## f. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO EVA

Tabla IV-36 RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 4.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL										
BRIQUETAS	% DE ASFALTO	% DE EVA	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
1	4.50%	2.00%	494.88	14	3.6	221	64.55	0.972	759.35	738.09
2	4.50%	2.00%	525.94	10	2.5	298	64.05	0.985	1024.11	1008.75
3	4.50%	2.00%	492.19	11	2.8	407	63.88	0.99	1397.05	1383.08
<b>PROMEDIO</b>			<b>504.34</b>	<b>11.67</b>	<b>2.97</b>	<b>308.64</b>	<b>64.16</b>	<b>0.98</b>	<b>1060.17</b>	<b>1043.31</b>
1	4.50%	3.00%	478.46	8	2	323	62.73	1.02	1109.85	1132.05
2	4.50%	3.00%	499.54	11	2.8	317	62.35	1.028	1089.65	1120.16
3	4.50%	3.00%	474.79	13	3.3	324	62.28	1.03	1114.13	1147.55
<b>PROMEDIO</b>			<b>484.26</b>	<b>10.67</b>	<b>2.70</b>	<b>321.56</b>	<b>62.45</b>	<b>1.03</b>	<b>1104.54</b>	<b>1133.25</b>
1	4.50%	4.00%	504.69	11	2.8	367	63.9	0.99	1259.12	1246.53
2	4.50%	4.00%	491.10	8	2	408	65.6	0.948	1401.39	1328.52
3	4.50%	4.00%	470.82	9	2.3	414	63.1	1.01	1421.64	1435.86
<b>PROMEDIO</b>			<b>488.87</b>	<b>9.33</b>	<b>2.37</b>	<b>396.13</b>	<b>64.19</b>	<b>0.98</b>	<b>1360.72</b>	<b>1336.97</b>
1	4.50%	5.00%	484.02	11.5	2.9	410	62.6	1.023	1408.97	1441.38
2	4.50%	5.00%	513.08	8	2	350	64.6	0.972	1201.15	1167.52
3	4.50%	5.00%	459.46	9	2.3	401	58.5	1.099	1378.87	1515.38
<b>PROMEDIO</b>			<b>485.52</b>	<b>9.50</b>	<b>2.40</b>	<b>387.09</b>	<b>61.89</b>	<b>1.03</b>	<b>1329.66</b>	<b>1374.76</b>
1	4.50%	6.00%	493.79	14	3.6	351	64.1	0.985	1205.98	1187.89
2	4.50%	6.00%	520.61	13.5	3.4	358	65.4	0.953	1229.81	1172.01
3	4.50%	6.00%	488.45	11	2.8	324	64.1	0.985	1112.35	1095.66
<b>PROMEDIO</b>			<b>500.95</b>	<b>12.83</b>	<b>3.27</b>	<b>344.31</b>	<b>64.52</b>	<b>0.97</b>	<b>1182.71</b>	<b>1151.85</b>

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

### f.1. INTERPRETACION

Esta tabla nos muestra los resultados de las lecturas de flujo, la conversión del flujo en (mm) y la lectura de estabilidad, para la estabilidad corregida se empleó el factor de conversión adquirida en la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) esta depende de la altura de la briqueta; dando el resultado en kilogramos. Se tendrá la misma estructura para las demás combinaciones de porcentajes de asfalto en el caso de asfalto sin modificar y en el caso de asfalto modificado en los porcentajes de polímeros.

Tabla IV-37 RESUMEN DE RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 4.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO EVA

RESULTADOS ENSAYOS MARSHALL														
BRIQUETA	%EVA	PESO AIRE	PESO SATURADO	PESO EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA(C)	Gmb (GR/CM3)	Gmm (GR/CM3)	V.a %	VAM %	VAF %	ESTABILIDAD (KG)			FLUJO 0.01"
											MEDIDA	CORREC	CORREGIDA	
1	2.00%	1191.00	1191.73	655	494.88	2.41	2.32	4.01%	3.5	75.27	759.35	0.972	738.09	14
2	2.00%	1185.00	1185.87	690	525.94	2.25	2.32	4.01%	7.45	27.12	1024.11	0.985	1008.75	10
3	2.00%	1177.00	1177.90	665	492.19	2.39	2.32	4.01%	-0.81	82.76	1397.05	0.99	1383.08	11
						<b>2.35</b>	<b>2.32</b>	<b>4.01%</b>	<b>3.38</b>	<b>61.72</b>	<b>1060.17</b>	<b>0.98</b>	<b>1043.31</b>	<b>12</b>
1	3.00%	1178.00	1179.26	663	478.46	2.46	2.32	1.25%	3.79	61.86	1109.85	1.02	1132.05	8
2	3.00%	1195.00	1196.14	680	499.54	2.39	2.32	1.25%	1.12	86.5	1089.65	1.028	1120.16	11
3	3.00%	1191.00	1192.23	658	474.79	2.51	2.32	1.25%	12.13	66.62	1114.13	1.03	1147.55	13
						<b>2.45</b>	<b>2.32</b>	<b>1.25%</b>	<b>5.68</b>	<b>71.66</b>	<b>1104.54</b>	<b>1.03</b>	<b>1133.25</b>	<b>10.67</b>
1	4.00%	1185.00	1186.32	658	504.69	2.35	2.32	1.84%	2.25	33.98	1259.12	0.99	1246.53	11
2	4.00%	1179.00	1180.17	664	491.10	2.40	2.32	1.84%	12.13	-64.91	1401.39	0.948	1328.52	8
3	4.00%	1186.00	1187.26	667	470.82	2.52	2.32	1.84%	-0.81	78.6	1421.64	1.01	1435.86	9
						<b>2.42</b>	<b>2.32</b>	<b>1.84%</b>	<b>4.52</b>	<b>15.89</b>	<b>1360.72</b>	<b>0.98</b>	<b>1336.97</b>	<b>9.33</b>
1	5.00%	1195.00	1195.92	663	484.02	2.47	2.32	2.39%	4.42	28.4	1408.97	1.023	1441.38	11.5
2	5.00%	1189.00	1190.07	680	513.08	2.32	2.32	2.39%	10.89	9.09	1201.15	0.972	1167.52	8
3	5.00%	1089.00	1090.03	658	459.46	2.37	2.32	2.39%	6.32	87.58	1378.87	1.099	1515.38	9
						<b>2.39</b>	<b>2.32</b>	<b>2.39%</b>	<b>7.21</b>	<b>41.69</b>	<b>1329.66</b>	<b>1.03</b>	<b>1374.76</b>	<b>9.50</b>
1	6.00%	1185.00	1185.92	667	493.79	2.40	2.32	2.81%	9.42	302.85	1205.98	0.985	1187.89	14
2	6.00%	1190.00	1191.07	665	520.61	2.29	2.32	2.81%	8.57	84.32	1229.81	0.953	1172.01	13.5
3	6.00%	1178.00	1179.03	667	488.45	2.41	2.32	2.81%	7.24	81.33	1112.35	0.985	1095.66	11
						<b>2.39</b>	<b>2.32</b>	<b>2.81%</b>	<b>8.41</b>	<b>156.17</b>	<b>1182.71</b>	<b>0.97</b>	<b>1151.85</b>	<b>12.83</b>

Fuente: GEOLUMAS SAC (ANEXO 6)

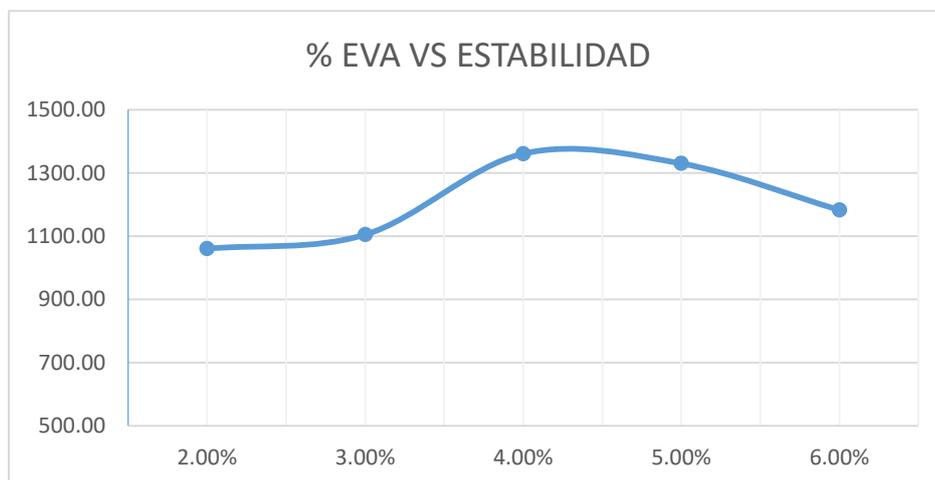


FIGURA IV-13 %EVA VS ESTABILIDAD

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (ANEXO 6)

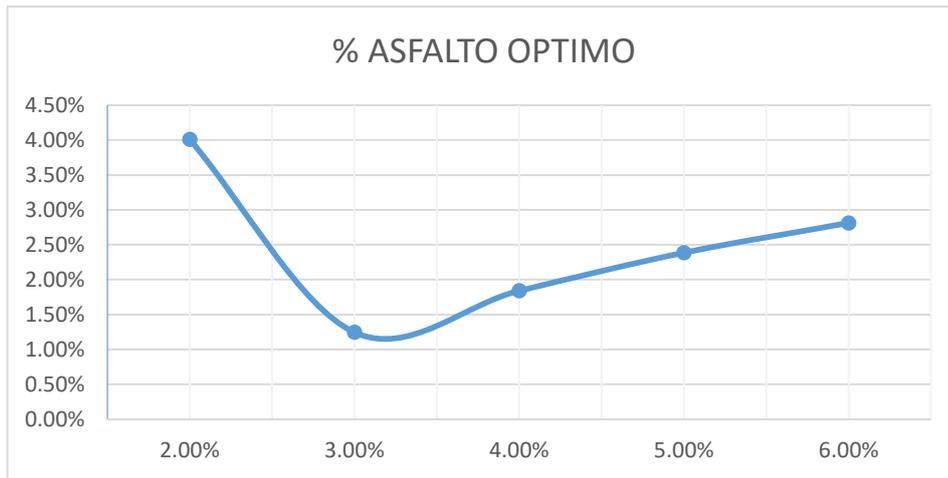


FIGURA IV-14 % DE ASFALTO OPTIMO

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (ANEXO 6)

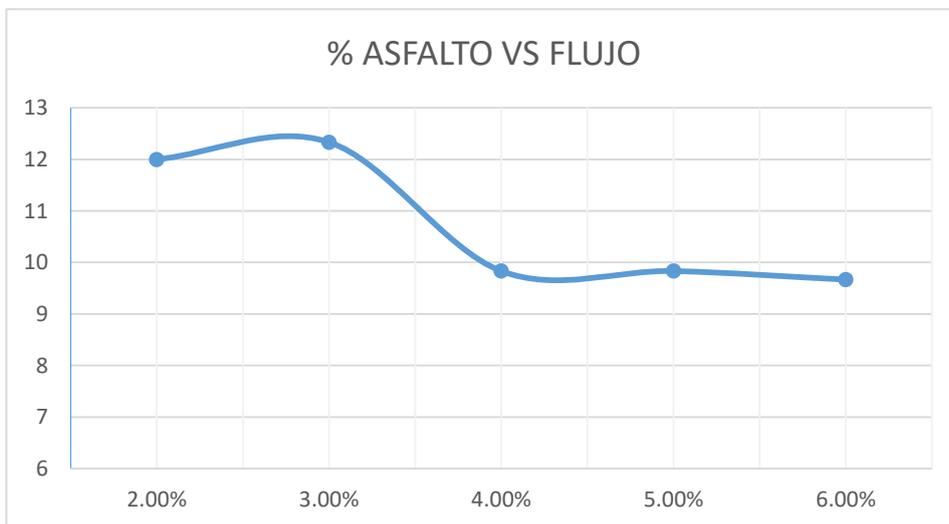


FIGURA IV-15 %ASFALTO VS FLUJO

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (ANEXO 6)

## f.2. INTERPRETACION

Esta tabla nos muestra los resultados del cálculo de las estabilidades y flujos así mismo de esta tabla de resultados podemos realizar las siguientes figuras IV.13, IV.14, V.15 con los vs respectivos que darán origen a hallar el porcentaje óptimo de asfalto según el ensayo Marshall con polímero EVA y para el tránsito encontrado en nuestra unidad de análisis.

#### 4.4.6. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBS:

Para realizar el asfalto modificado se dedujo el procedimiento de cálculo teniendo como ejemplo 5% de contenido de asfalto y los diferentes porcentajes de polímero SBS.

#### a. PROPORCIONES DE AGREGADOS PARA CADA PORCENTAJE DE POLIMERO

##### a.1. TABLAS DE PROPORCIONES DE AGREGADOS

Tabla IV-38 5% DE ASFALTO CON 2% DE POLIMERO SBS

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		5.00%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.20%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.04%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO SBS	60.00	60.00
AGREGADO GRUESO	590.40	590.40
AGREGADO FINO	528.48	549.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		58.80
POLIMERO SBS:	2.00%	1.20
TOTAL		60.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-39 5% DE ASFALTO CON 3% DE POLIMERO SBS

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		5.00%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.20%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.04%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO SBS	60.00	60.00
AGREGADO GRUESO	590.40	590.40
AGREGADO FINO	528.48	549.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		58.20
POLIMERO SBS:	3.00%	1.80
TOTAL		60.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-40 5% DE ASFALTO CON 4% DE POLIMERO SBS

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		5.00%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.20%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.04%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO SBS	60.00	60.00
AGREGADO GRUESO	590.40	590.40
AGREGADO FINO	528.48	549.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		57.60
POLIMERO SBS:	4.00%	2.40
TOTAL		60.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-41 5% DE ASFALTO CON 5% DE POLIMERO SBS

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		5.00%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.20%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.04%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO SBS	60.00	60.00
AGREGADO GRUESO	590.40	590.40
AGREGADO FINO	528.48	549.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		57.00
POLIMERO SBS:	5.00%	3.00
TOTAL		60.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-42 5% DE ASFALTO CON 6% DE POLIMERO SBS

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		5.00%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.20%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.04%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO SBS	60.00	60.00
AGREGADO GRUESO	590.40	590.40
AGREGADO FINO	528.48	549.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		56.40
POLIMERO SBS:	6.00%	3.60
TOTAL		60.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

## b. DENSIDAD BULK:

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Primero se midió la altura del espécimen con mucha precisión, también, se midió su diámetro en cuatro sitios diferentes y se calculó su promedio, tal cual, establece el procedimiento.

Para hallar el volumen de la muestra que tiene forma cilíndrica se calcula con la altura promedio y el diámetro promedio, mediante la siguiente expresión

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

Una vez calculado el volumen se puede estimar la densidad de la probeta y así convertir la densidad bulk en gravedad específica bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> la densidad del agua a 25°C(77°F).

Finalmente, se muestra las mediciones que se realizó a cada briqueta y su densidad bulk por contenido de asfalto, se desarrollará el cálculo de una briqueta.

### b.1. EJEMPLO

Contenido de polímero 5% en 5% de asfalto

Briqueta 1

M = 1200 g

D promedio 10.055 cm

H promedio = 6.450 cm

Calculando el volumen se tiene:

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi (10.055)^2 (6.450)}{4}$$

$$V_{cilindro} = 512.17 \text{ cm}^3$$

Para la densidad

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

$$Densidad = \frac{1200}{512.17}$$

$$Densidad = 2.343 \text{ g/cm}^3$$

Dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> Densidad del agua a 25° C) para obtener gravedad específica Bulk (Geb):

$$Geb = \frac{2.343 \text{ g/cm}^3}{0.99707 \text{ g/cm}^3}$$

**Geb =2.350**

De la misma manera se realizará el cálculo de la gravedad específica para las demás briquetas y se promedian los valores obtenidos.

Este cálculo debe de realizarse por cada contenido de asfalto. En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para cada briketa analizada y por cada uno de los contenidos de asfalto.

**b.2. TABLAS DE DENSIDAD BULK**

Tabla IV-43 PARA 5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBS

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.00%		
<b>BRIQUETA N° 1.1</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.000	h1	6.500	1198	515.06	2.326
d2	9.950	h2	6.450	GEB	2.333	
d3	10.110	h3	6.500			
d4	10.010	h4	6.690			
PROMEDIO	10.018	PROMEDIO	6.535			
<b>BRIQUETA 2</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.010	h1	6.510	1172	511.41	2.292
d2	10.010	h2	6.600	GEB	2.298	
d3	10.000	h3	6.400			
d4	10.000	h4	6.510			
PROMEDIO	10.005	PROMEDIO	6.505			
<b>BRIQUETA 3</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.010	h1	6.460	1185	506.95	2.338
d2	10.010	h2	6.410	GEB	2.344	
d3	10.060	h3	6.400			
d4	10.020	h4	6.420			
PROMEDIO	10.025	PROMEDIO	6.423			
PROMEDIO				GEB	2.325	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-44 PARA 5% DE ASFALTO CON 3% DE POLÍMERO SBS

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.00%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.060	h1	5.830	1085	452.89	2.396
d2	10.070	h2	5.560	GEB	2.403	
d3	10.060	h3	5.560			
d4	10.060	h4	5.830			
PROMEDIO	10.063	PROMEDIO	5.695			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.040	h1	6.500	1159	520.03	2.229
d2	10.040	h2	6.500	GEB	2.235	
d3	10.300	h3	6.480			
d4	10.030	h4	6.470			
PROMEDIO	10.103	PROMEDIO	6.488			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.060	h1	6.300	1178	501.25	2.350
d2	10.000	h2	6.250	GEB	2.357	
d3	10.060	h3	6.400			
d4	10.100	h4	6.300			
PROMEDIO	10.055	PROMEDIO	6.313			
PROMEDIO				GEB	2.332	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-45 PARA 5% DE ASFALTO CON 4% DE POLÍMERO SBS

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.00%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.010	h1	6.500	1189	512.89	2.318
d2	9.950	h2	6.480	GEB	2.325	
d3	10.010	h3	6.500			
d4	10.100	h4	6.550			
PROMEDIO	10.018	PROMEDIO	6.508			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.000	h1	6.440	1194	508.80	2.347
d2	9.980	h2	6.440	GEB	2.354	
d3	9.980	h3	6.500			
d4	10.050	h4	6.520			
PROMEDIO	10.003	PROMEDIO	6.475			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.030	h1	6.150	1187	505.89	2.346
d2	10.030	h2	6.400	GEB	2.353	
d3	10.000	h3	6.500			
d4	10.100	h4	6.510			
PROMEDIO	10.040	PROMEDIO	6.390			
PROMEDIO				GEB	2.344	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-46 PARA 5% DE ASFALTO CON 5% DE POLÍMERO SBS

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.00%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.100	h1	6.400	1200	512.17	2.343
d2	10.000	h2	6.400	GEB	2.350	
d3	10.100	h3	6.500			
d4	10.020	h4	6.500			
PROMEDIO	10.055	PROMEDIO	6.450			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.030	h1	6.490	1181	510.92	2.312
d2	10.010	h2	6.490	GEB	2.318	
d3	10.000	h3	6.450			
d4	10.030	h4	6.500			
PROMEDIO	10.018	PROMEDIO	6.483			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.010	h1	6.400	1200	514.35	2.333
d2	10.100	h2	6.510	GEB	2.340	
d3	10.100	h3	6.440			
d4	10.010	h4	6.560			
PROMEDIO	10.055	PROMEDIO	6.478			
PROMEDIO				GEB	2.336	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-47 PARA 5% DE ASFALTO CON 6% DE POLÍMERO SBS

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.00%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.120	h1	6.500	1200	522.52	2.297
d2	10.000	h2	6.450	GEB	2.303	
d3	10.120	h3	6.650			
d4	10.150	h4	6.500			
PROMEDIO	10.098	PROMEDIO	6.525			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	9.980	h1	6.340	1184	498.93	2.373
d2	10.010	h2	6.340	GEB	2.380	
d3	10.010	h3	6.380			
d4	10.000	h4	6.350			
PROMEDIO	10.000	PROMEDIO	6.353			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.080	h1	6.300	1198	512.22	2.339
d2	10.070	h2	6.400	GEB	2.346	
d3	10.070	h3	6.500			
d4	10.080	h4	6.500			
PROMEDIO	10.075	PROMEDIO	6.425			
PROMEDIO				GEB	2.343	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

### c. GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA:

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos por cada contenido de asfalto.

#### c.1. TABLAS DE GRAVEDADES ESPECIFICAS

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.00%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9618
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1045
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.392

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-49 PARA 5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO SBS

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.00%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9607
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1056
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.367

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-50 PARA 5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO SBS

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.00%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9609
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1054
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.372

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-51 PARA 5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO SBS

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.00%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9620
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1043
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.397

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-52 PARA 5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO SBS

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.00%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9607
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1056
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.367

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

#### d. CALCULO DE VACÍOS

Una vez obtenido la gravedad especifica bulk y la gravedad especifica máxima teórica que se halló anteriormente, se puede hallar el contenido de vacíos por cada contenido de asfalto con la siguiente formula:

$$vacíos = \frac{Gem - Geb}{Gem} \times 100$$

Gem= Gravedad especifica máxima teoría

Geb = gravedad especifica bulk (calor promedio)

##### d.1. EJEMPLO

$$Geb = 2.373$$

$$Gem = 2.441$$

Reemplazando en la fórmula de vacíos se tiene:

$$Vacíos = \frac{2.441-2.373}{2.441} \times 100$$

$$Vacíos = 2.81\%$$

Este cálculo se volverá hacer para los otros contenidos de asfaltos, como se muestra en la siguiente tabla los resultados obtenidos:

Tabla IV-53 CALCULO DE VACIOS PARA 2,3,4,5 Y 6% DE POLIMERO SBS EN 5% DE ASFALTO

% DE ASFALTO	%SBS	VACIOS
5.00%	2.00%	2.81%
5.00%	3.00%	1.51%
5.00%	4.00%	1.18%
5.00%	5.00%	2.54%
5.00%	6.00%	1.03%

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

#### e. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO):

Se realizaron 3 probetas por cada contenido de asfalto, este ensayo se ejecutó procurando que el rango de la temperatura este comprendida entre 15° y 30°C, teniendo como tolerancia máxima de +- 1°C después de esto se halló la masa de cada probeta con una aproximación de 0.1g como se menciona en la norma.

Continuando con el procedimiento se insertó una probeta en el bombo de la máquina de los ángeles, se hizo girar el bombo a velocidad de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm) como se realizó para ensayo de desgaste de agregados cabe aclarar que fue sin la carga abrasiva de las bolas y durante 300 vueltas, finalmente se extrajo la probeta del bombo para así hallar de nuevo su masa con la aproximación de 0.1g.

Con la siguiente formula se halló la perdida por desgaste por cada probeta ensayada:

$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

Donde:

P= valor de la perdida por desgaste, en %

W1= masa inicial de la probeta, en gramos

W2= masa final de la probeta, en gramos

Y por último se calculó el valor medio de las 3 probetas ensayadas, esto para cada contenido de asfalto.

#### e.1. EJEMPLO:

Contenido de polímero 5% con 5% de asfalto

Briqueta 1:

W1 = 1200 gr

W2 = 1090 gr

Evaluando la perdida se tiene:

$$P = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

$$P = \frac{1200 - 1090}{1200} \times 100$$

$$P = 9.17\%$$

Para obtener la pérdida por desgaste promedio se desarrollará el proceso antes realizado siendo este repetitivo para las demás briquetas promediando el valor obtenido:

## e.2. TABLAS DE DESGASTE LOS ANGELES EN LA MEZCLA

Tabla IV-54 PARA 5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBS

CONTENIDO DE POLIMERO : SBS					2.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	25	25	1198	946	21.04	19.26
2	25	25	1172	960	18.09	
3	26	25	1185	964	18.65	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-55 PARA 5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO SBS

CONTENIDO DE POLIMERO : SBS					3.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	25	24	1085	910	16.13	19.83
2	26	25	1159	920	20.62	
3	25	24	1178	910	22.75	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-56 PARA 5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO SBS

CONTENIDO DE POLIMERO : SBS					4.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	24	25	1189	990	16.74	17.92
2	24	25	1194	950	20.44	
3	25	25	1187	990	16.60	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-57 PARA 5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO SBS

CONTENIDO DE POLIMERO : SBS					5.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	25.5	25	1200	1090	9.17	10.70
2	25	25	1181	1054	10.75	
3	25	25.5	1200	1054	12.17	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

Tabla IV-58 PARA 5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO SBS

CONTENIDO DE POLIMERO : SBS					6.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26.5	26.5	1200	1010	15.83	14.12
2	26	25	1184	1036	12.50	
3	26	26	1198	1030	14.02	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

## f. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO SBS

Tabla IV-59 RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO SBS

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL										
BRIQUETAS	% DE ASFALTO	% DE SBS	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
1	5.00%	2.00%	515.06	10	2.5	163	65.4	0.953	559.13	533
2	5.00%	2.00%	511.41	11	2.8	157	65.1	0.96	538.23	517
3	5.00%	2.00%	506.95	12	3	155	64.2	0.982	531.98	522
PROMEDIO			511.14	11.00	2.77	158.11	64.88	0.97	543.11	524
1	5.00%	3.00%	452.89	7	1.8	259	57.0	1.099	888.1	976
2	5.00%	3.00%	520.03	6	1.5	291	64.9	0.965	998.9	964
3	5.00%	3.00%	501.25	7	1.8	348	63.1	1.01	1196.65	1209
PROMEDIO			491.39	6.67	1.70	299.24	61.65	1.02	1027.88	1050
1	5.00%	4.00%	512.89	7	1.8	315	65.1	0.96	1081.04	1038
2	5.00%	4.00%	508.80	6	1.5	344	64.8	0.967	1180.49	1142
3	5.00%	4.00%	505.89	9	2.3	353	63.9	0.99	1212.07	1200
PROMEDIO			509.19	7.33	1.87	337.08	64.58	0.97	1157.87	1126
1	5.00%	5.00%	512.17	12	3	385	64.5	0.975	1321.11	1288
2	5.00%	5.00%	510.92	9	2.3	424	64.8	0.967	1457.66	1410
3	5.00%	5.00%	514.35	9	2.3	464	64.8	0.967	1595.1	1542
PROMEDIO			512.48	10.00	2.53	424.44	64.70	0.97	1457.96	1413
1	5.00%	6.00%	522.52	14	3.6	510	65.3	0.955	1751	1672
2	5.00%	6.00%	498.93	11	2.8	539	63.5	1	1851.31	1851
3	5.00%	6.00%	512.22	12	3	574	64.3	0.98	1971.24	1932
PROMEDIO			511.22	12.33	3.13	540.86	64.34	0.98	1857.85	1818

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

### f.1. INTERPRETACION

Esta tabla nos muestra los resultados de las lecturas de flujo, la conversión del flujo en (mm) y la lectura de estabilidad, para la estabilidad corregida se empleó el factor de conversión adquirida en la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) esta depende de la altura de la briqueta; dando el resultado en kilogramos. Se tendrá la misma estructura para las demás combinaciones de porcentajes de asfalto en el caso de asfalto sin modificar y en el caso de asfalto modificado en los porcentajes de polímeros.

Tabla IV-60 RESUMEN DE RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO SBS

RESULTADOS ENSAYOS MARSHALL														
BRIQUETA	%SBS	PESO AIRE	PESO SATURADO	PESO EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA(C)	Gmb (GR/CM3)	Gmm (GR/CM3)	V.a %	VAM %	VAF %	ESTABILIDAD (KG)			FLUJO 0.01"
											MEDIDA	CORREC	CORREGIDA	
1.1	2.00%	1198.00	1198.73	646	515.06	2.33	2.32	2.81%	10.17	60.31	559.13	0.953	532.85	10
1.2	2.00%	1172.00	1172.87	647	511.41	2.29	2.32	2.81%	9.97	64.24	538.23	0.96	516.70	11
1.3	2.00%	1185.00	1185.90	646	506.95	2.34	2.32	2.81%	8.9	51.98	531.98	0.982	522.40	12
						<b>2.32</b>	<b>2.32</b>	<b>2.81%</b>	<b>9.68</b>	<b>58.84</b>	<b>543.11</b>	<b>0.97</b>	<b>523.99</b>	<b>11</b>
2.1	3.00%	1085.00	1086.26	590	452.89	2.40	2.32	1.51%	5.15	13.41	888.1	1.099	976.02	7
2.2	3.00%	1159.00	1160.14	665	520.03	2.23	2.32	1.51%	12.5	84.31	998.9	0.965	963.94	6
2.3	3.00%	1178.00	1179.23	655	501.25	2.35	2.32	1.51%	9.84	61.31	1196.65	1.01	1208.62	7
						<b>2.32</b>	<b>2.32</b>	<b>1.51%</b>	<b>9.16</b>	<b>53.01</b>	<b>1027.88</b>	<b>1.02</b>	<b>1049.53</b>	<b>6.67</b>
3.1	4.00%	1189.00	1190.32	635	512.89	2.32	2.32	1.18%	12.13	63.25	1081.04	0.96	1037.80	7
3.2	4.00%	1194.00	1195.17	645	508.80	2.35	2.32	1.18%	9.84	62.12	1180.49	0.967	1141.53	6
3.3	4.00%	1187.00	1188.26	645	505.89	2.35	2.32	1.18%	9.1	65.11	1212.07	0.99	1199.95	9
						<b>2.34</b>	<b>2.32</b>	<b>1.18%</b>	<b>10.36</b>	<b>63.49</b>	<b>1157.87</b>	<b>0.97</b>	<b>1126.43</b>	<b>7.33</b>
4.1	5.00%	1200.00	1200.92	667	512.17	2.34	2.32	2.54%	10.25	77.25	1321.11	0.963	1272.23	12
4.2	5.00%	1181.00	1182.07	667	510.92	2.31	2.32	2.54%	10.35	92.12	1457.66	0.965	1406.64	9
4.3	5.00%	1200.00	1201.03	665	514.35	2.33	2.32	2.54%	10.34	65.58	1595.1	0.973	1552.03	9
						<b>2.33</b>	<b>2.32</b>	<b>2.54%</b>	<b>10.31</b>	<b>78.32</b>	<b>1457.96</b>	<b>0.97</b>	<b>1410.30</b>	<b>10.00</b>
5.1	6.00%	1200.00	1200.92	661	522.52	2.30	2.32	1.03%	13.14	87.51	1751	0.955	1672.21	14
5.2	6.00%	1184.00	1185.07	661	498.93	2.37	2.32	1.03%	14.01	79.21	1851.31	1	1851.31	11
5.3	6.00%	1198.00	1199.03	669	512.22	2.34	2.32	1.03%	11.54	84.36	1971.24	0.98	1931.82	12
						<b>2.33</b>	<b>2.32</b>	<b>1.03%</b>	<b>12.90</b>	<b>83.69</b>	<b>1857.85</b>	<b>0.98</b>	<b>1818.44</b>	<b>12.33</b>

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 7)

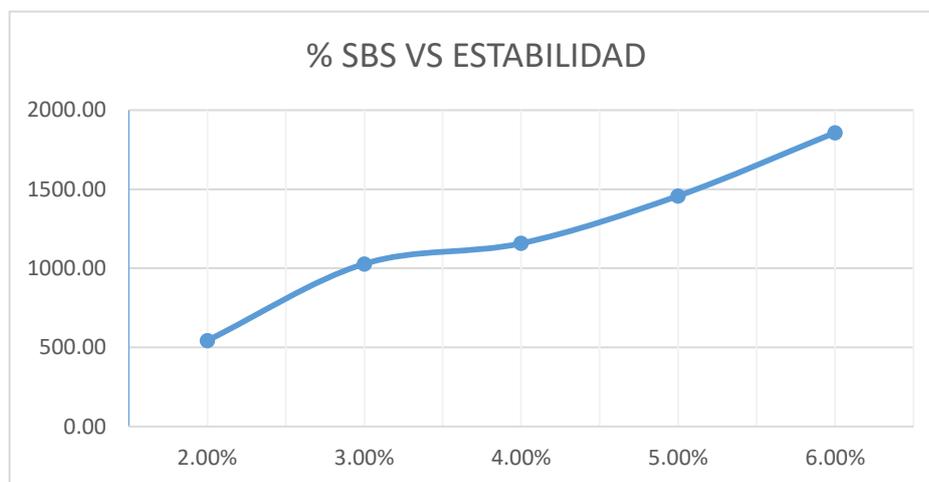


FIGURA IV-16 %SBS VS ESTABILIDAD

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 7).

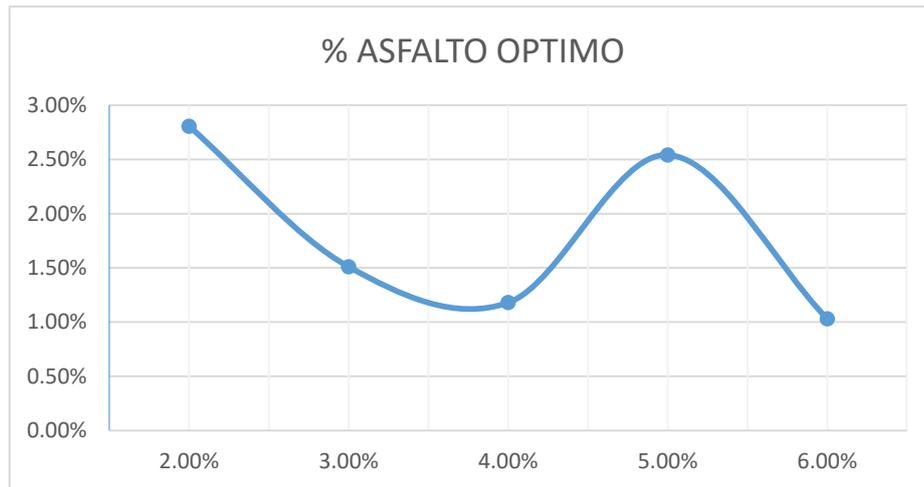


FIGURA IV-17 % ASFALTO OPTIMO

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 7).

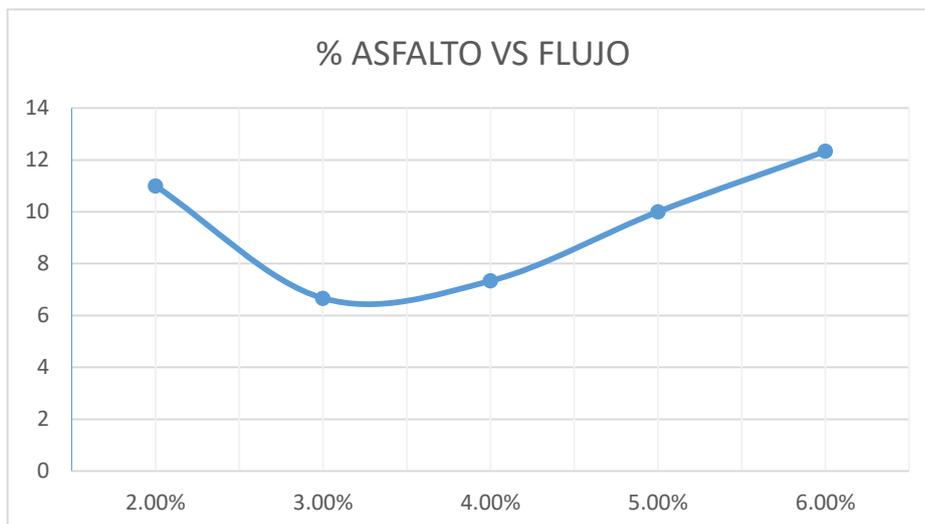


FIGURA IV-18 %ASFALTO VS FLUJO

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 7).

## f.2. INTERPRETACION

Esta tabla nos muestra los resultados del cálculo de las estabilidades y flujos así mismo de esta tabla de resultados podemos realizar las siguientes figuras IV.16, IV.17, V.18 con los vs respectivos que darán origen a hallar el porcentaje óptimo de asfalto según el ensayo Marshall con polímero SBS y para el tránsito encontrado en nuestra unidad de análisis.

#### 4.4.7. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBR:

Para realizar el asfalto modificado se dedujo el procedimiento de cálculo teniendo como ejemplo 5.5% de contenido de asfalto y los diferentes porcentajes de polímero SBR.

#### a. PROPORCIONES DE AGREGADOS PARA CADA PORCENTAJE DE POLIMERO

##### a.1. TABLAS DE PROPORCIONES DE AGREGADOS

Tabla IV-61 5.5% DE ASFALTO CON 2% DE POLIMERO SBR

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		5.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		48.95%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		43.79%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO SBR	66.00	66.00
AGREGADO GRUESO	587.40	587.40
AGREGADO FINO	525.48	546.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		64.68
POLIMERO SBR:	2.00%	1.32
TOTAL		66.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-62 5.5% DE ASFALTO CON 3% DE POLIMERO SBR

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		5.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		48.95%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		43.79%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO SBR	66.00	66.00
AGREGADO GRUESO	587.40	587.40
AGREGADO FINO	525.48	546.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		64.02
POLIMERO SBR:	3.00%	1.98
TOTAL		66.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-63 5.5% DE ASFALTO CON 4% DE POLIMERO SBR

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		5.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		48.95%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		43.79%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO SBR	66.00	66.00
AGREGADO GRUESO	587.40	587.40
AGREGADO FINO	525.48	546.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		63.36
POLIMERO SBR:	4.00%	2.64
TOTAL		66.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-64 5.5% DE ASFALTO CON 5% DE POLIMERO SBR

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		5.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		48.95%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		43.79%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO SBR	66.00	66.00
AGREGADO GRUESO	587.40	587.40
AGREGADO FINO	525.48	546.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		62.70
POLIMERO SBR:	5.00%	3.30
TOTAL		66.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-65 5.5% DE ASFALTO CON 6% DE POLIMERO SBR

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		5.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		48.95%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		43.79%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO SBR	66.00	66.00
AGREGADO GRUESO	587.40	587.40
AGREGADO FINO	525.48	546.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		62.04
POLIMERO SBR:	6.00%	3.96
TOTAL		66.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

## b. DENSIDAD BULK:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Primero se midió la altura del espécimen con mucha precisión, también, se midió su diámetro en cuatro sitios diferentes y se calculó su promedio, tal cual, establece el procedimiento.

Para hallar el volumen de la muestra que tiene forma cilíndrica se calcula con la altura promedio y el diámetro promedio, mediante la siguiente expresión

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

Una vez calculado el volumen se puede estimar la densidad de la probeta y así convertir la densidad bulk en gravedad específica bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> la densidad del agua a 25°C (77°F). Finalmente, se muestra las mediciones que se realizó a cada briqueta y su densidad bulk por contenido de asfalto, se desarrollará el cálculo de una briqueta.

### b.1. EJEMPLO

Contenido de polímero 2% en 5.5% de asfalto

Briqueta 1

M = 1192 g

D promedio 10.088 cm

H promedio = 6.563 cm

Calculando el volumen se tiene:

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi (10.088)^2 (6.563)}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 524.48 \text{ cm}^3$$

Para la densidad

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\text{Densidad} = \frac{1192}{524.48}$$

$$\text{Densidad} = 2.273 \text{ g/cm}^3$$

Dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> Densidad del agua a 25° C) para obtener gravedad específica Bulk (Geb):

$$\text{Geb} = \frac{2.273 \text{ g/cm}^3}{0.99707 \text{ g/cm}^3}$$

$$G_{eb} = 2.279$$

De la misma manera se realizará el cálculo de la gravedad específica para las demás briquetas y se promedian los valores obtenidos.

Este cálculo debe de realizarse por cada contenido de asfalto. En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para cada briqueleta analizada y por cada uno de los contenidos de asfalto.

## b.2. TABLAS DE DENSIDAD BULK

Tabla IV-66 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBR

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.50%		
<b>BRIQUETA N° 1.1</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.100	h1	6.650	1192	524.48	2.273
d2	10.050	h2	6.650	GEB	2.279	
d3	10.100	h3	6.550			
d4	10.100	h4	6.400			
PROMEDIO	10.088	PROMEDIO	6.563			
<b>BRIQUETA 2</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.100	h1	6.500	1193	522.52	2.283
d2	10.050	h2	6.650	GEB	2.290	
d3	10.120	h3	6.550			
d4	10.120	h4	6.400			
PROMEDIO	10.098	PROMEDIO	6.525			
<b>BRIQUETA 3</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS (CM)		MASA (G)	VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	DENSIDAD (G/CM <sup>3</sup> )
d1	10.110	h1	6.500	1195	519.97	2.298
d2	10.120	h2	6.650	GEB	2.305	
d3	10.000	h3	6.450			
d4	10.100	h4	6.450			
PROMEDIO	10.083	PROMEDIO	6.513			
PROMEDIO				GEB	2.291	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-67 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 3% DE POLÍMERO SBR

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.50%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.100	h1	5.870	1189	487.67	2.438
d2	10.070	h2	5.550	GEB	2.445	
d3	10.070	h3	6.500			
d4	10.100	h4	6.500			
PROMEDIO	10.085	PROMEDIO	6.105			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.080	h1	5.450	1195	499.06	2.394
d2	10.040	h2	6.500	GEB	2.402	
d3	10.100	h3	6.490			
d4	10.080	h4	6.600			
PROMEDIO	10.075	PROMEDIO	6.260			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.050	h1	5.870	1191	496.15	2.400
d2	10.100	h2	6.400	GEB	2.408	
d3	10.090	h3	6.250			
d4	10.120	h4	6.300			
PROMEDIO	10.090	PROMEDIO	6.205			
PROMEDIO				GEB	2.418	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-68 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 4% DE POLÍMERO SBR

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.50%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.100	h1	6.580	1190	517.83	2.298
d2	10.060	h2	6.450	GEB	2.305	
d3	10.090	h3	6.300			
d4	10.090	h4	6.600			
PROMEDIO	10.085	PROMEDIO	6.483			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.060	h1	6.530	1179	516.29	2.284
d2	10.110	h2	6.560	GEB	2.290	
d3	10.060	h3	6.440			
d4	10.050	h4	6.400			
PROMEDIO	10.070	PROMEDIO	6.483			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.100	h1	6.480	1186	517.60	2.291
d2	10.090	h2	6.460	GEB	2.298	
d3	10.080	h3	6.490			
d4	10.100	h4	6.450			
PROMEDIO	10.093	PROMEDIO	6.470			
PROMEDIO				GEB	2.298	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-69 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 5% DE POLÍMERO SBR

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.50%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.060	h1	6.330	1191	512.34	2.325
d2	10.050	h2	6.500	GEB	2.331	
d3	10.050	h3	6.500			
d4	10.090	h4	6.440			
PROMEDIO	10.063	PROMEDIO	6.443			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.100	h1	6.430	1191	515.52	2.310
d2	10.000	h2	6.500	GEB	2.317	
d3	10.070	h3	6.560			
d4	10.080	h4	6.440			
PROMEDIO	10.063	PROMEDIO	6.483			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.080	h1	6.600	1190	519.61	2.290
d2	10.060	h2	6.500	GEB	2.297	
d3	10.050	h3	6.450			
d4	10.080	h4	6.560			
PROMEDIO	10.068	PROMEDIO	6.528			
PROMEDIO				GEB	2.315	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-70 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 6% DE POLÍMERO SBR

PORCENTAJE DE ASFALTO				5.50%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.000	h1	6.400	1178	512.99	2.296
d2	10.000	h2	6.400	GEB	2.303	
d3	10.010	h3	6.650			
d4	10.010	h4	6.650			
PROMEDIO	10.005	PROMEDIO	6.525			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.080	h1	6.370	1182	508.95	2.322
d2	10.110	h2	6.350	GEB	2.329	
d3	10.080	h3	6.380			
d4	10.090	h4	6.360			
PROMEDIO	10.090	PROMEDIO	6.365			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.100	h1	6.500	1179	516.11	2.284
d2	10.000	h2	6.450	GEB	2.291	
d3	10.000	h3	6.500			
d4	10.080	h4	6.600			
PROMEDIO	10.045	PROMEDIO	6.513			
PROMEDIO				GEB	2.308	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

### c. GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA:

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos por cada contenido de asfalto.

#### c.1. TABLA DE GRAVEDADES ESPECIFICAS

Tabla IV-71 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBR

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9615
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1048
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.385

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-72 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO SBR

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9640
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1023
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.444

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-73 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO SBR

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9614
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1049
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.383

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-74 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO SBR

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9623
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1040
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.404

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-75 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO SBR

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	5.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9615
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1048
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.385

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

#### d. CALCULO DE VACÍOS

Una vez obtenido la gravedad especifica bulk y la gravedad especifica máxima teórica que se halló anteriormente, se puede hallar el contenido de vacíos por cada contenido de asfalto con la siguiente formula:

$$vacíos = \frac{Gem - Geb}{Gem} \times 100$$

Gem= Gravedad especifica máxima teoría

Geb = gravedad especifica bluk (calor promedio)

##### d.1. EJEMPLO

$$Geb = 2.298$$

$$Gem = 2.383$$

Reemplazando en la fórmula de vacíos se tiene:

$$Vacíos = \frac{2.383 - 2.298}{2.383} \times 100$$

$$\mathbf{Vacíos = 3.59\%}$$

Este cálculo se volverá hacer para los otros contenidos de asfaltos, como se muestra en la siguiente tabla los resultados obtenidos:

Tabla IV-76 CÁLCULO DE VACÍOS PARA 2,3,4,5 Y 6% DE POLIMERO SBR EN 5.5% DE ASFALTO

% DE ASFALTO	%SBR	VACIOS
5.50%	2.00%	3.94%
5.50%	3.00%	1.05%
5.50%	4.00%	3.59%
5.50%	5.00%	3.69%
5.50%	6.00%	3.26%

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

### e. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO):

Se realizaron 3 probetas por cada contenido de asfalto, este ensayo se ejecutó procurando que el rango de la temperatura este comprendida entre 15° y 30°C, teniendo como tolerancia máxima de +- 1°C después de esto se halló la masa de cada probeta con una aproximación de 0.1g como se menciona en la norma.

Continuando con el procedimiento se inserto una probeta en el bombo de la máquina de los ángeles, se hizo girar el bombo a velocidad de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm) como se realizó para ensayo de desgaste de agregados cabe aclarar que fue sin la carga abrasiva de las bolas y durante 300 vueltas, finalmente se extrajo la probeta del bombo para así hallar de nuevo su masa con la aproximación de 0.1g.

Con la siguiente formula se halló la perdida por desgaste por cada probeta ensayada:

$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

Donde:

P= valor de la perdida por desgaste, en %

W1= masa inicial de la probeta, en gramos

W2= masa final de la probeta, en gramos

Finalmente se halló el promedio de las 3 probetas ensayadas, para cada contenido de asfalto.

#### e.1. EJEMPLO:

Contenido de polímero 3% con 5.5% de asfalto

Briqueta 1:

$$W1 = 1189 \text{ gr}$$

$$W2 = 925 \text{ gr}$$

Evaluando la perdida se tiene:

$$P = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

$$P = \frac{1189 - 925}{1189} \times 100$$

$$P = 22.20\%$$

Para obtener la perdida por desgaste promedio se desarrollará el proceso antes realizado siendo este repetitivo para las demás briquetas promediando el valor obtenido:

## e.2. TABLAS DE DESGASTE LOS ANGELES EN LA MEZCLA

Tabla IV-77 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 2% POLÍMERO SBR

CONTENIDO DE POLIMERO : SBR					2.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	25	25	1192	937	21.39	20.59
2	25	25	1193	941	21.12	
3	26	25	1195	965	19.25	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-78 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 3% POLÍMERO SBR

CONTENIDO DE POLIMERO : SBR					3.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	25	24	1189	925	22.20	22.77
2	26	25	1195	925	22.59	
3	25	24	1191	911	23.51	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-79 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 4% POLÍMERO SBR

CONTENIDO DE POLIMERO : SBR					4.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	24	25	1190	980	17.65	17.19
2	24	25	1179	983	16.62	
3	25	25	1186	981	17.28	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-80 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 5% POLÍMERO SBR

CONTENIDO DE POLIMERO : SBR					5.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	25.5	25	1191	1031	13.43	11.56
2	25	25	1191	1074	9.82	
3	25	25.5	1190	1054	11.43	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

Tabla IV-81 PARA 5.5% DE ASFALTO CON 6% POLÍMERO SBR

CONTENIDO DE POLIMERO : SBR					6.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26.5	26.5	1178	1051	10.78	10.45
2	26	25	1182	1050	11.17	
3	26	26	1179	1068	9.41	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

## f. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO SBR

Tabla IV-82 RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 5.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL										
BRIQUETAS	% DE ASFALTO	% DE SBR	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
1	5.50%	2.00%	524.48	13	3.3	164	65.6	0.949	564.27	535
2	5.50%	2.00%	522.52	11	2.8	177	65.3	0.947	606.91	575
3	5.50%	2.00%	519.97	8.5	2.2	184	65.1	0.985	630.95	621
<b>PROMEDIO</b>			<b>522.32</b>	<b>10.83</b>	<b>2.77</b>	<b>174.88</b>	<b>65.33</b>	<b>0.96</b>	<b>600.71</b>	<b>577</b>
1	5.50%	3.00%	487.67	13	3.3	258	61.1	1.254	887.23	1113
2	5.50%	3.00%	499.06	12	3	289	62.6	0.963	993.95	957
3	5.50%	3.00%	496.15	7	1.8	272	62.1	0.995	933.95	929
<b>PROMEDIO</b>			<b>494.30</b>	<b>10.67</b>	<b>2.70</b>	<b>273.18</b>	<b>61.90</b>	<b>1.07</b>	<b>938.38</b>	<b>1000</b>
1	5.50%	4.00%	517.83	11	2.8	263	64.8	0.956	901.74	862
2	5.50%	4.00%	516.29	10	2.5	263	64.8	0.968	903.56	875
3	5.50%	4.00%	517.60	9	2.3	270	64.7	0.97	927.14	899
<b>PROMEDIO</b>			<b>517.24</b>	<b>10.00</b>	<b>2.53</b>	<b>265.16</b>	<b>64.78</b>	<b>0.96</b>	<b>910.81</b>	<b>879</b>
1	5.50%	5.00%	512.34	13	3.3	239	64.4	0.963	819.64	789
2	5.50%	5.00%	515.52	11.5	2.9	234	64.8	0.965	803.31	775
3	5.50%	5.00%	519.61	10	2.5	233	65.3	0.973	799.68	778
<b>PROMEDIO</b>			<b>515.82</b>	<b>11.50</b>	<b>2.90</b>	<b>235.09</b>	<b>64.84</b>	<b>0.97</b>	<b>807.54</b>	<b>781</b>
1	5.50%	6.00%	512.99	15.5	3.9	254	65.3	0.956	872.71	834
2	5.50%	6.00%	508.95	13	3.3	260	63.7	0.993	893.58	887
3	5.50%	6.00%	516.11	15	3.8	254	65.1	0.956	870.9	833
<b>PROMEDIO</b>			<b>512.68</b>	<b>14.50</b>	<b>3.67</b>	<b>255.91</b>	<b>64.68</b>	<b>0.97</b>	<b>879.06</b>	<b>851</b>

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

### f.1. INTERPRETACIÓN

Esta tabla nos muestra los resultados de las lecturas de flujo, la conversión del flujo en (mm) y la lectura de estabilidad, para la estabilidad corregida se empleó el factor de conversión adquirida en la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) esta depende de la altura de la briqueta; dando el resultado en kilogramos. Se tendrá la misma estructura para las demás combinaciones de porcentajes de asfalto en el caso de asfalto sin modificar y en el caso de asfalto modificado en los porcentajes de polímeros.

Tabla IV-83 RESUMEN DE RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 5.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6 % DE POLIMERO SBR

RESULTADOS ENSAYOS MARSHALL														
BRIQUETA	%SBR	PESO AIRE	PESO SATURADO	PESO EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA(C)	Gmb (GR/CM3)	Gmm (GR/CM3)	V.a %	VAM %	VAF %	ESTABILIDAD (KG)			FLUJO 0.01"
											MEDIDA	CORREC	CORREGIDA	
1.1	2.00%	1192.00	1192.73	637	524.48	2.27	2.32	3.94%	14.22	55.34	564.27	0.949	535.49	13
1.2	2.00%	1193.00	1193.87	642	522.52	2.28	2.32	3.94%	15.12	71.15	606.91	0.947	574.74	11
1.3	2.00%	1195.00	1195.90	643	519.97	2.30	2.32	3.94%	12.11	60.12	630.95	0.985	621.49	8.5
						<b>2.28</b>	<b>2.32</b>	<b>3.94%</b>	<b>13.82</b>	<b>62.20</b>	<b>600.71</b>	<b>0.96</b>	<b>577.24</b>	<b>11</b>
2.1	3.00%	1189.00	1190.26	654	487.67	2.44	2.32	1.05%	6.72	63.19	887.23	1.254	1112.59	13
2.2	3.00%	1195.00	1196.14	656	499.06	2.39	2.32	1.05%	11.31	59.34	993.95	0.963	957.17	12
2.3	3.00%	1191.00	1192.23	645	496.15	2.40	2.32	1.05%	16.21	67.12	933.95	0.995	929.28	7
						<b>2.41</b>	<b>2.32</b>	<b>1.05%</b>	<b>11.41</b>	<b>63.22</b>	<b>938.38</b>	<b>1.07</b>	<b>999.68</b>	<b>10.67</b>
3.1	4.00%	1190.00	1191.32	644	517.83	2.30	2.32	3.59%	7.24	58.15	901.74	0.956	862.06	11
3.2	4.00%	1179.00	1180.17	654	516.29	2.28	2.32	3.59%	9.18	41.58	903.56	0.968	874.65	10
3.3	4.00%	1186.00	1187.26	658	517.60	2.29	2.32	3.59%	15.21	60.23	927.14	0.97	899.33	9
						<b>2.29</b>	<b>2.32</b>	<b>3.59%</b>	<b>10.54</b>	<b>53.32</b>	<b>910.81</b>	<b>0.96</b>	<b>878.68</b>	<b>10.00</b>
4.1	5.00%	1191.00	1191.92	660	512.34	2.32	2.32	3.69%	12.25	81.12	819.64	0.963	789.31	13
4.2	5.00%	1191.00	1192.07	651	515.52	2.31	2.32	3.69%	15.39	53.17	803.31	0.965	775.19	11.5
4.3	5.00%	1190.00	1191.03	649	519.61	2.29	2.32	3.69%	14.25	71.18	799.68	0.973	778.09	10
						<b>2.31</b>	<b>2.32</b>	<b>3.69%</b>	<b>13.96</b>	<b>68.49</b>	<b>807.54</b>	<b>0.97</b>	<b>780.87</b>	<b>11.50</b>
5.1	6.00%	1178.00	1178.92	653	512.99	2.30	2.32	3.26%	7.53	45.96	872.71	0.956	834.31	15.5
5.2	6.00%	1182.00	1183.07	661	508.95	2.32	2.32	3.26%	13.81	74.21	893.58	0.993	887.32	13
5.3	6.00%	1179.00	1180.03	652	516.11	2.28	2.32	3.26%	12.25	60.21	870.9	0.956	832.58	15
						<b>2.31</b>	<b>2.32</b>	<b>3.26%</b>	<b>11.20</b>	<b>60.13</b>	<b>879.06</b>	<b>0.97</b>	<b>851.41</b>	<b>14.50</b>

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 8)

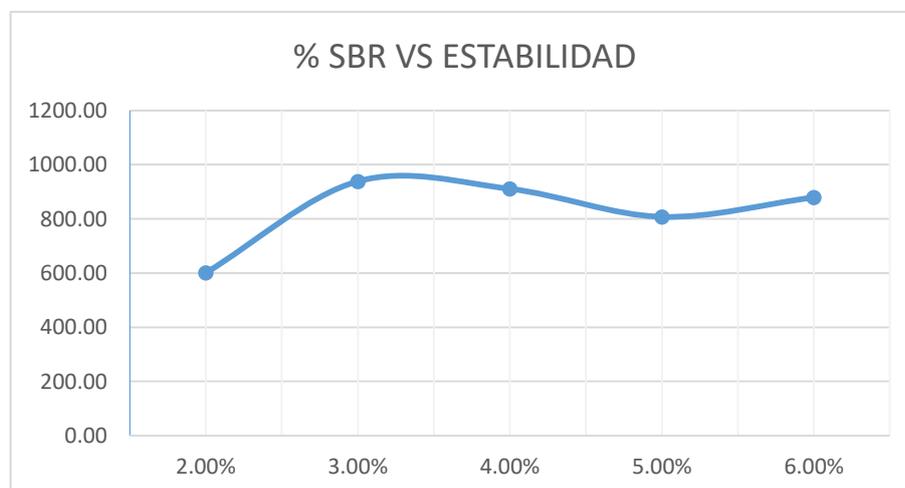


FIGURA IV-19 %SBR VS ESTABILIDAD

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 8)

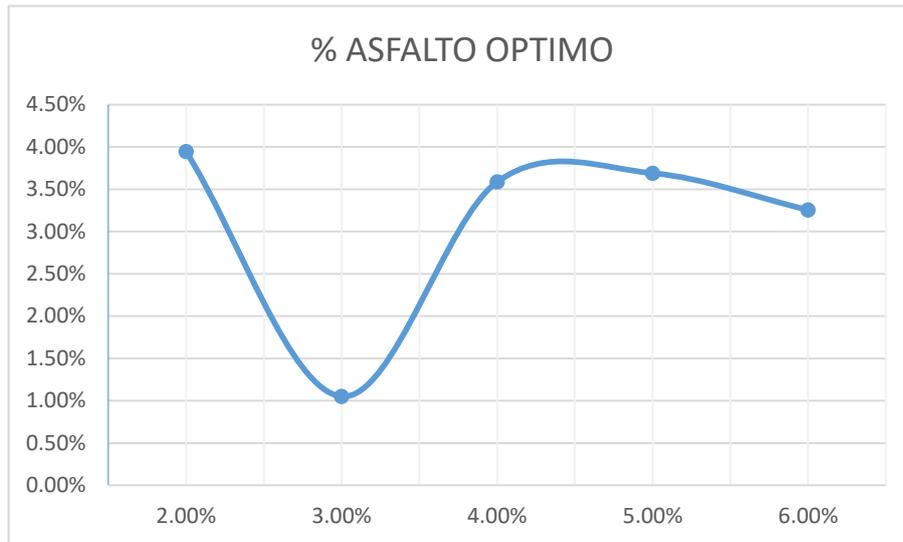


FIGURA IV-20 % ASFALTO OPTIMO

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 8)

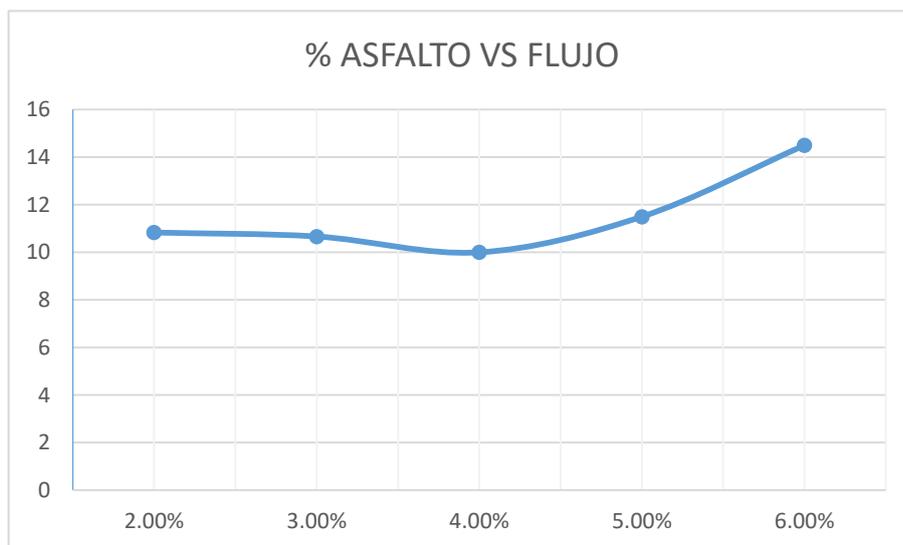


FIGURA IV-21 %ASFALTO VS FLUJO

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 8)

## f.2. INTERPRETACIÓN

Esta tabla nos muestra los resultados del cálculo de las estabilidades y flujos así mismo de esta tabla de resultados podemos realizar las siguientes figuras IV.19, IV.20, V.21 con los vs respectivos que darán origen a hallar el porcentaje óptimo de asfalto según el ensayo Marshall con polímero SBR y para el tránsito encontrado en nuestra unidad de análisis.

#### 4.4.8. ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO:

Para realizar el asfalto modificado se dedujo el procedimiento de cálculo teniendo como ejemplo 4.5% de contenido de asfalto y los diferentes porcentajes de CAUCHO.

#### a. PROPORCIONES DE AGREGADOS PARA CADA PORCENTAJE DE POLIMERO

##### a.1. TABLAS DE PROPORCIONES DE AGREGADOS

Tabla IV-84 4.5% DE ASFALTO CON 2% DE CAUCHO

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.45%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.29%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO CAUCH	54.00	54.00
AGREGADO GRUESO	593.40	593.40
AGREGADO FINO	531.48	552.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		52.92
CAUCHO	2.00%	1.08
TOTAL		54.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-85 4.5% DE ASFALTO CON 3% DE CAUCHO

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.45%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.29%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO CAUCH	54.00	54.00
AGREGADO GRUESO	593.40	593.40
AGREGADO FINO	531.48	552.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		52.38
CAUCHO:	3.00%	1.62
TOTAL		54.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-86 4.5% DE ASFALTO CON 4% DE CAUCHO

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.45%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.29%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO CAUCH	54.00	54.00
AGREGADO GRUESO	593.40	593.40
AGREGADO FINO	531.48	552.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		51.84
CAUCHO:	4.00%	2.16
TOTAL		54.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-87 4.5% DE ASFALTO CON 5% DE CAUCHO

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.45%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.29%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO CAUCH	54.00	54.00
AGREGADO GRUESO	593.40	593.40
AGREGADO FINO	531.48	552.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		51.30
CAUCHO:	5.00%	2.70
TOTAL		54.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-88 4.5% DE ASFALTO CON 6% DE CAUCHO

PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO		
TOTAL PESO DE LA BRIQUETA		1200.00
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.50%
PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO		49.45%
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO		44.29%
PORCENTAJE DE FILLER		1.76%
ASFALTO MODIFICADO CAUCH	54.00	54.00
AGREGADO GRUESO	593.40	593.40
AGREGADO FINO	531.48	552.60
FILLER	21.12	
TOTAL	1200.00	1200.00
ASFALTO CONVENCIONAL:		50.76
CAUCHO:	6.00%	3.24
TOTAL		54.00

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

## b. DENSIDAD BULK:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Primero se midió la altura del espécimen con mucha precisión, también, se midió su diámetro en cuatro sitios diferentes y se calculó su promedio, tal cual, establece el procedimiento.

Para hallar el volumen de la muestra que tiene forma cilíndrica se calcula con la altura promedio y el diámetro promedio, mediante la siguiente expresión

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

Una vez calculado el volumen se puede estimar la densidad de la probeta y así convertir la densidad bulk en gravedad específica bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> la densidad del agua a 25°C(77°F).

Finalmente, se muestra las mediciones que se realizó a cada briqueta y su densidad bulk por contenido de asfalto, se desarrollará el cálculo de una briqueta.

### b.1. EJEMPLO

Contenido de CAUCHO 6% en 4.5% de asfalto  
Briqueta 1.

$$M = 1185 \text{ g}$$

$$D \text{ promedio } 10.025 \text{ cm}$$

$$H \text{ promedio } = 6.690 \text{ cm}$$

Calculando el volumen se tiene:

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi (10.025)^2 (6.690)}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 528.06 \text{ cm}^3$$

Para la densidad

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\text{Densidad} = \frac{1185}{528.06}$$

$$\text{Densidad} = 2.244 \text{ g/cm}^3$$

Dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> Densidad del agua a 25° C) para obtener gravedad específica Bulk (Geb):

$$\text{Geb} = \frac{2.244 \text{ g/cm}^3}{0.99707 \text{ g/cm}^3}$$

$$\text{Geb} = 2.251$$

De la misma manera se realizará el cálculo de la gravedad específica para las demás briquetas y se promedian los valores obtenidos.

Este cálculo debe de realizarse por cada contenido de asfalto. En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para cada briketa analizada y por cada uno de los contenidos de asfalto.

## b.2. TABLAS DE DENSIDAD BULK

Tabla IV-89 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% CAUCHO

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
<b>BRIQUETA N° 1.1</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.100	h1	6.690	1185	528.06	2.244
d2	10.100	h2	6.680	GEB	2.251	
d3	9.950	h3	6.690			
d4	9.950	h4	6.700			
PROMEDIO	10.025	PROMEDIO	6.690			
<b>BRIQUETA 2</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.100	h1	6.500	1200	513.32	2.338
d2	10.010	h2	6.500	GEB	2.345	
d3	9.900	h3	6.500			
d4	10.100	h4	6.500			
PROMEDIO	10.028	PROMEDIO	6.500			
<b>BRIQUETA 3</b>						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.000	h1	6.450	1198	507.56	2.360
d2	10.000	h2	6.500	GEB	2.367	
d3	10.000	h3	6.450			
d4	10.000	h4	6.450			
PROMEDIO	10.000	PROMEDIO	6.463			
PROMEDIO				GEB	2.321	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-90 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% CAUCHO

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	9.950	h1	6.350	1175	495.79	2.370
d2	9.980	h2	6.500	GEB	2.377	
d3	9.840	h3	6.300			
d4	9.840	h4	6.600			
PROMEDIO	9.903	PROMEDIO	6.438			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.010	h1	6.550	1200	514.16	2.334
d2	10.100	h2	6.500	GEB	2.341	
d3	10.100	h3	6.550			
d4	10.010	h4	6.300			
PROMEDIO	10.055	PROMEDIO	6.475			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.120	h1	6.450	1179	510.75	2.308
d2	10.120	h2	6.500	GEB	2.315	
d3	10.120	h3	6.300			
d4	10.000	h4	6.300			
PROMEDIO	10.090	PROMEDIO	6.388			
PROMEDIO				GEB	2.344	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-91 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% CAUCHO

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.020	h1	6.400	1185	507.98	2.333
d2	10.000	h2	6.500	GEB	2.340	
d3	10.000	h3	6.500			
d4	9.950	h4	6.510			
PROMEDIO	9.993	PROMEDIO	6.478			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.010	h1	6.380	1190	500.09	2.380
d2	9.930	h2	6.380	GEB	2.387	
d3	9.950	h3	6.450			
d4	10.000	h4	6.400			
PROMEDIO	9.973	PROMEDIO	6.403			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.000	h1	6.600	1193	505.01	2.362
d2	10.000	h2	6.350	GEB	2.369	
d3	10.000	h3	6.350			
d4	10.000	h4	6.420			
PROMEDIO	10.000	PROMEDIO	6.430			
PROMEDIO				GEB	2.365	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-92 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% CAUCHO

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	9.850	h1	6.330	1169	488.80	2.392
d2	9.900	h2	6.330	GEB	2.399	
d3	9.900	h3	6.500			
d4	9.880	h4	6.330			
PROMEDIO	9.883	PROMEDIO	6.373			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.030	h1	6.500	1184	506.63	2.337
d2	10.030	h2	6.490	GEB	2.344	
d3	9.900	h3	6.500			
d4	9.980	h4	6.390			
PROMEDIO	9.985	PROMEDIO	6.470			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.050	h1	6.530	1165	515.63	2.259
d2	10.050	h2	6.470	GEB	2.266	
d3	10.100	h3	6.470			
d4	10.000	h4	6.530			
PROMEDIO	10.050	PROMEDIO	6.500			
PROMEDIO				GEB	2.336	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-93 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% DE CAUCHO

PORCENTAJE DE ASFALTO				4.50%		
BRIQUETA N° 1.1						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.120	h1	6.490	1189	511.49	2.325
d2	10.010	h2	6.370	GEB	2.331	
d3	10.010	h3	6.470			
d4	10.030	h4	6.500			
PROMEDIO	10.043	PROMEDIO	6.458			
BRIQUETA 2						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	10.070	h1	6.340	1188	506.89	2.344
d2	10.070	h2	6.370	GEB	2.351	
d3	10.080	h3	6.340			
d4	10.090	h4	6.370			
PROMEDIO	10.078	PROMEDIO	6.355			
BRIQUETA 3						
DIAMETROS (CM)		ALTURAS(CM)		MASA(G)	VOLUMEN(C M3)	DENSIDAD (G/CM3)
d1	9.810	h1	6.350	1189	495.27	2.401
d2	9.810	h2	6.410	GEB	2.408	
d3	10.000	h3	6.450			
d4	10.000	h4	6.500			
PROMEDIO	9.905	PROMEDIO	6.428			
PROMEDIO				GEB	2.363	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

### c. GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA:

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos por cada contenido de asfalto.

#### c.1. TABLAS DE GRAVEDAD ESPECIFICA

Tabla IV-94 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% CAUCHO

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9630
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1033
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.420

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-95 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% CAUCHO

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9638
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1025
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.439

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-96 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% CAUCHO

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9621
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1042
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.399

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-97 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% CAUCHO

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9621
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1042
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.399

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-98 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% CAUCHO

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.50%
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	8163
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	9610
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	1053
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.374

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

#### d. CALCULO DE VACÍOS

Una vez obtenido la gravedad especifica bulk y la gravedad especifica máxima teórica que se halló anteriormente, se puede hallar el contenido de vacíos por cada contenido de asfalto con la siguiente formula:

$$\text{vacíos} = \frac{G_{em} - G_{eb}}{G_{em}} \times 100$$

G<sub>em</sub>= Gravedad especifica máxima teoría

G<sub>eb</sub> = gravedad especifica bulk (calor promedio)

##### d.1. EJEMPLO

$$G_{eb} = 2.393$$

$$G_{em} = 2.451$$

Reemplazando en la fórmula de vacíos se tiene:

$$\text{Vacíos} = \frac{2.451 - 2.393}{2.451} \times 100$$

$$\text{Vacíos} = 2.63\%$$

Este cálculo se volverá hacer para los otros contenidos de asfaltos, como se muestra en la siguiente tabla los resultados obtenidos:

Tabla IV-99 DE CÁLCULO DE VACÍOS PARA 2,3,4,5 Y 6% DE CAUCHO EN 4.5% DE ASFALTO

% DE ASFALTO	%CAUCHO	VACIOS
4.50%	2.00%	4.10%
4.50%	3.00%	3.88%
4.50%	4.00%	1.42%
4.50%	5.00%	2.63%
4.50%	6.00%	0.46%

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

### e. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO):

Se realizaron 3 probetas por cada contenido de asfalto, este ensayo se ejecutó procurando que el rango de la temperatura este comprendida entre 15° y 30°C, teniendo como tolerancia máxima de +- 1°C después de esto se halló la masa de cada probeta con una aproximación de 0.1g como se menciona en la norma.

Continuando con el procedimiento se insertó una probeta en el bombo de la máquina de los ángeles, se hizo girar el bombo a velocidad de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm) como se realizó para ensayo de desgaste de agregados cabe aclarar que fue sin la carga abrasiva de las bolas y durante 300 vueltas, finalmente se extrajo la probeta del bombo para así hallar de nuevo su masa con la aproximación de 0.1g.

Con la siguiente formula se halló la perdida por desgaste por cada probeta ensayada:

$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

Donde:

P= valor de la perdida por desgaste, en %

W1= masa inicial de la probeta, en gramos

W2= masa final de la probeta, en gramos

Finalmente se halló el promedio de las 3 probetas ensayadas, para cada contenido de asfalto.

#### e.1. EJEMPLO:

Contenido de polímero 4.5% con 5% de CAUCHO

Briqueta 1:

$$W1 = 1169 \text{ gr}$$

$$W2 = 1015 \text{ gr}$$

Evaluando la perdida se tiene:

$$P = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

$$P = \frac{1169 - 1015}{1169} \times 100$$

$$P = 13.17\%$$

Para obtener la perdida por desgaste promedio se desarrollará el proceso antes realizado siendo este repetitivo para las demás briquetas promediando el valor obtenido:

## e.2. TABLAS DE DESGASTE LOS ANGELES EN LA MEZCLA

Tabla IV-100 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 2% CAUCHO

CONTENIDO DE CAUCHO					2.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	25	25	1185	947	20.08	20.71
2	25	25	1200	943	21.42	
3	26	25	1198	951	20.62	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-101 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 3% CAUCHO

CONTENIDO DE CAUCHO					3.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	25	24	1175	931	20.77	21.41
2	26	25	1200	931	22.42	
3	25	24	1179	931	21.03	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-102 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 4% CAUCHO

CONTENIDO DE CAUCHO					4.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	24	25	1185	965	18.57	19.00
2	24	25	1190	960	19.33	
3	25	25	1193	965	19.11	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-103 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 5% CAUCHO

CONTENIDO DE CAUCHO					5.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	25.5	25	1169	1015	13.17	14.53
2	25	25	1184	957	19.17	
3	25	25.5	1165	1034	11.24	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

Tabla IV-104 PARA 4.5% DE ASFALTO CON 6% CAUCHO

CONTENIDO DE CAUCHO					6.00%	
PROBETA	TEMPERATURA		MASA ANTES	MASA DESPUES	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1	26.5	26.5	1189	1033	13.12	13.15
2	26	25	1188	1031	13.22	
3	26	26	1189	1033	13.12	

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

## f. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON CAUCHO

Tabla IV-105 RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 4.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6% DE CAUCHO

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL										
BRIQUETAS	% DE ASFALTO	% DE CAUCHO	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
1	4.50%	2.00%	528.06	10	2.5	104	66.9	0.915	356.17	326
2	4.50%	2.00%	513.32	12	3	106	65.0	0.963	365.10	352
3	4.50%	2.00%	507.56	10	2.5	124	64.6	0.972	425.06	413
<b>PROMEDIO</b>			<b>516.32</b>	<b>10.67</b>	<b>2.67</b>	<b>111.24</b>	<b>65.51</b>	<b>0.95</b>	<b>382.11</b>	<b>364</b>
1	4.50%	3.00%	495.79	7	1.8	150	64.4	0.977	515.13	503
2	4.50%	3.00%	514.16	8	2	153	64.8	0.967	525.07	508
3	4.50%	3.00%	510.75	7	1.8	146	63.9	0.99	501.09	496
<b>PROMEDIO</b>			<b>506.90</b>	<b>7.33</b>	<b>1.87</b>	<b>149.57</b>	<b>64.33</b>	<b>0.98</b>	<b>513.76</b>	<b>502</b>
1	4.50%	4.00%	507.98	10	2.5	255	64.8	0.967	874.91	846
2	4.50%	4.00%	500.09	9	2.3	226	64.0	0.987	776.67	767
3	4.50%	4.00%	505.01	11	2.8	233	64.3	0.98	800.20	784
<b>PROMEDIO</b>			<b>504.36</b>	<b>10.00</b>	<b>2.53</b>	<b>237.92</b>	<b>64.37</b>	<b>0.98</b>	<b>817.26</b>	<b>799</b>
1	4.50%	5.00%	488.80	13	3.3	166	63.7	0.995	571.51	569
2	4.50%	5.00%	506.63	14	3.6	174	64.7	0.97	596.77	579
3	4.50%	5.00%	515.63	10	2.5	170	65.0	0.963	582.98	561
<b>PROMEDIO</b>			<b>503.69</b>	<b>12.33</b>	<b>3.13</b>	<b>169.94</b>	<b>64.48</b>	<b>0.98</b>	<b>583.75</b>	<b>570</b>
1	4.50%	6.00%	511.49	14	3.6	163	64.6	0.972	561.25	546
2	4.50%	6.00%	506.89	13	3.3	147	63.6	0.997	503.24	502
3	4.50%	6.00%	495.27	14	3.6	207	64.3	0.98	709.97	696
<b>PROMEDIO</b>			<b>504.55</b>	<b>13.67</b>	<b>3.50</b>	<b>172.19</b>	<b>64.13</b>	<b>0.98</b>	<b>591.49</b>	<b>581</b>

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

### f.1. INTERPRETACION

Esta tabla nos muestra los resultados de las lecturas de flujo, la conversión del flujo en (mm) y la lectura de estabilidad, para la estabilidad corregida se empleó el factor de conversión adquirida en la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) esta depende de la altura de la briqueta; dando el resultado en kilogramos. Se tendrá la misma estructura para las demás combinaciones de porcentajes de asfalto en el caso de asfalto sin modificar y en el caso de asfalto modificado en los porcentajes de polímeros.

Tabla IV-106 RESUMEN DE RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON 4.5% DE ASFALTO PARA 2,3,4,5 Y 6% DE CAUCHO

RESULTADOS ENSAYOS MARSHALL														
BRIQUETA	%CAUCHO	PESO AIRE	PESO SATURADO	PESO EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA(C	Gmb (GR/CM3)	Gmm (GR/CM3)	V.a %	VAM %	VAF %	ESTABILIDAD (KG)			FLUJO 0.01"
											MEDIDA	CORREC	CORREGIDA	
1.1	2.00%	1185.00	1185.73	651	528.06	2.24	2.32	4.10%	9.37	52.63	356.17	0.915	325.90	10
1.2	2.00%	1200.00	1200.87	650	513.32	2.34	2.32	4.10%	9.07	47.79	365.1	0.963	351.59	12
1.3	2.00%	1198.00	1198.90	654	507.56	2.36	2.32	4.10%	9.65	45.7	425.06	0.972	413.16	10
						<b>2.31</b>	<b>2.32</b>	<b>4.10%</b>	<b>9.36</b>	<b>48.71</b>	<b>382.11</b>	<b>0.95</b>	<b>363.55</b>	<b>11</b>
2.1	3.00%	1175.00	1176.26	664	495.79	2.37	2.32	3.88%	10.32	43.68	515.13	0.977	503.28	7
2.2	3.00%	1200.00	1201.14	657	514.16	2.33	2.32	3.88%	14.29	43.61	525.07	0.967	507.74	8
2.3	3.00%	1179.00	1180.23	655	510.75	2.31	2.32	3.88%	13.57	32.08	501.09	0.99	496.08	7
						<b>2.34</b>	<b>2.32</b>	<b>3.88%</b>	<b>12.73</b>	<b>39.79</b>	<b>513.76</b>	<b>0.98</b>	<b>502.37</b>	<b>7.33</b>
3.1	4.00%	1185.00	1186.32	623	507.98	2.33	2.32	1.42%	15.77	63.12	874.91	0.967	846.04	10
3.2	4.00%	1190.00	1191.17	641	500.09	2.38	2.32	1.42%	15.97	53.34	776.67	0.987	766.57	9
3.3	4.00%	1193.00	1194.26	632	505.01	2.36	2.32	1.42%	15.95	40.21	800.2	0.98	784.20	11
						<b>2.36</b>	<b>2.32</b>	<b>1.42%</b>	<b>15.90</b>	<b>52.22</b>	<b>817.26</b>	<b>0.98</b>	<b>798.94</b>	<b>10.00</b>
4.1	5.00%	1169.00	1169.92	649	488.80	2.39	2.32	2.63%	16.4	55.15	571.51	0.995	568.65	13
4.2	5.00%	1184.00	1185.07	652	506.63	2.34	2.32	2.63%	17.54	49.83	596.77	0.97	578.87	14
4.3	5.00%	1165.00	1166.03	649	515.63	2.26	2.32	2.63%	15.42	57.51	582.98	0.963	561.41	10
						<b>2.33</b>	<b>2.32</b>	<b>2.63%</b>	<b>16.45</b>	<b>54.16</b>	<b>583.75</b>	<b>0.98</b>	<b>569.64</b>	<b>12.33</b>
5.1	6.00%	1189.00	1189.92	660	511.49	2.32	2.32	0.46%	15.14	54.88	561.25	0.972	545.54	14
5.2	6.00%	1188.00	1189.07	661	506.89	2.34	2.32	0.46%	15.37	50.04	503.24	0.997	501.73	13
5.3	6.00%	1189.00	1190.03	660	495.27	2.40	2.32	0.46%	15.24	66.05	709.97	0.98	695.77	14
						<b>2.33</b>	<b>2.32</b>	<b>0.46%</b>	<b>15.25</b>	<b>56.99</b>	<b>591.49</b>	<b>0.98</b>	<b>581.01</b>	<b>13.67</b>

FUENTE: GEOLUMAS SAC (ANEXO 9)

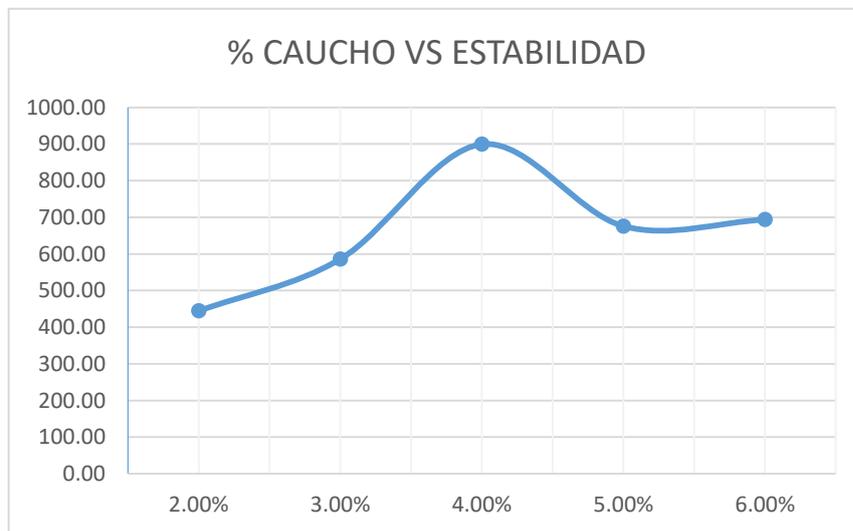


FIGURA IV-22 % CAUCHO VS ESTABILIDAD

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 8)

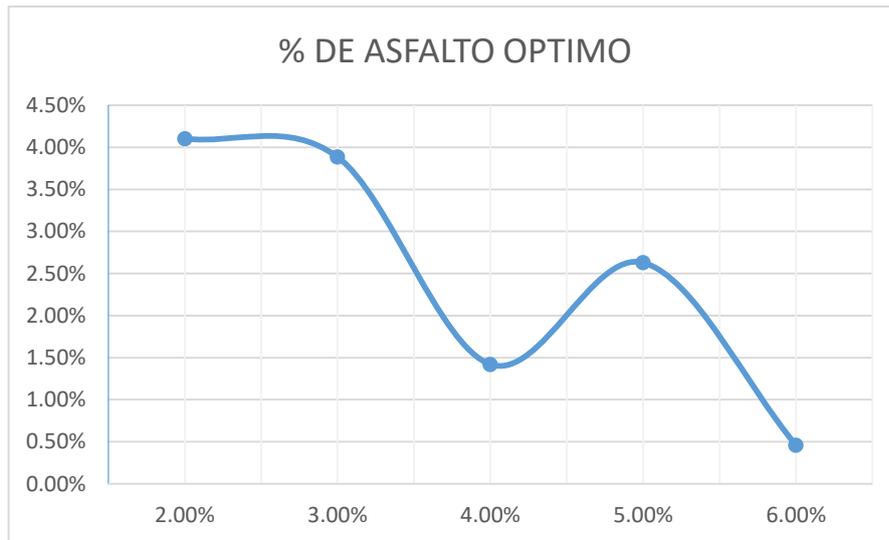


FIGURA IV-23 % ASFALTO OPTIMO

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 8).

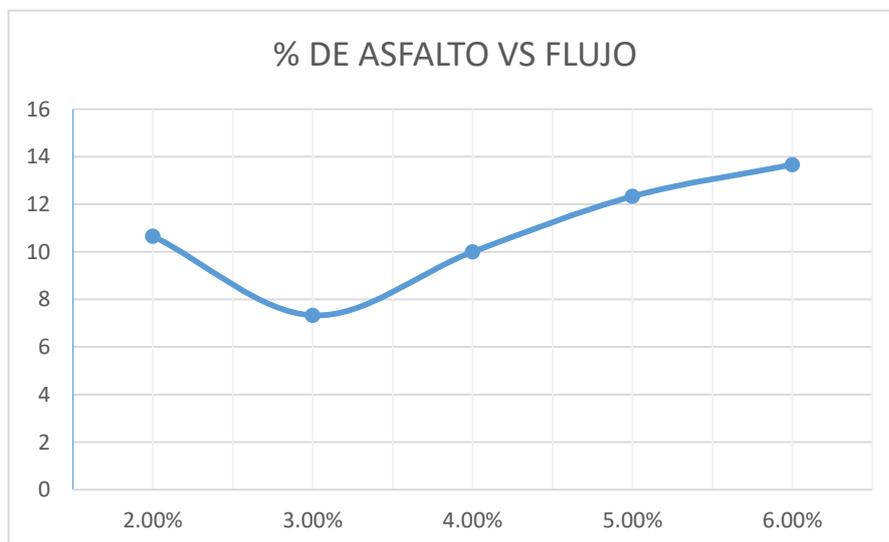


FIGURA IV-24 % ASFALTO VS FLUJO

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 8).

## f.2. INTERPRETACION

Esta tabla nos muestra los resultados del cálculo de las estabilidades y flujos así mismo de esta tabla de resultados podemos realizar las siguientes figuras IV.22, IV.23, V.24 con los vs respectivos que darán origen a hallar el porcentaje óptimo de asfalto según el ensayo Marshall con polímero CAUCHO y para el tránsito encontrado en nuestra unidad de análisis.

## 4.5. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

El APU (Análisis de Precios Unitarios) es un modelo matemático que adelanta el resultado, expresado en moneda, de una situación relacionada con una actividad sometida a estudio. También es una unidad dentro del concepto "Costo de Obra", ya que una Obra puede contener varios Presupuestos.

A continuación, se muestra los A.P.U de asfalto convencional y asfalto modificado con los diferentes tipos de polímeros utilizados en la investigación (EVA SBR SBS Y CAUCHO) tanto el precio por m2 y por m3.

### 4.5.1. ASFALTO CONVENCIONAL

Tabla IV-107 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA POR M2

Análisis de precios unitarios									
Presupuesto	1001001	APLICACION DE LA METODOLOGIA MARSHALL PARA LA MODIFICACION DE ASFALTOS CONVENCIONAL							
Subpresupuesto	001	POLIMERO TIPO I II III IV					Fecha presupuesto	13/04/2017	
Partida	01.01	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE							
Rendimiento	m2/DIA	MO.	4,926.2600	EQ.	4,926.2600	Costo unitario directo por : m2		47.25	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.			
<b>Mano de Obra</b>									
0147010002	OPERARIO			hh		2.0000	0.0032	17.80	0.06
0147010003	OFICIAL			hh		1.0000	0.0016	15.27	0.02
0147010004	PEON			hh		6.0000	0.0097	13.77	0.13
0147010100	CAPATAZ			hh		1.0000	0.0016	19.58	0.03
									<b>0.24</b>
<b>Materiales</b>									
0204000005	FILLER			kg		1.5600	2.60		4.06
0205000034	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" A 3/4"			m3		0.0493	65.00		3.20
0205010004	ARENA GRUESA			m3		0.2000	65.00		13.00
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100			gln		1.2200	17.50		21.35
0253100004	PETROLEO DIESEL			gln		0.1000	11.30		1.13
									<b>42.74</b>
<b>Equipos</b>									
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	0.24		0.01
0349040010	CARGADOR S/LLANTAS 125-155 HP 3 YD3.			hm		1.0000	0.0016	200.00	0.32
0349050020	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115 TON/H			hm		1.0000	0.0016	2,200.00	3.52
0349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW			hm		1.0000	0.0016	250.00	0.40
0349260099	SECADOR DE ARIDOS			hm		1.0000	0.0016	15.50	0.02
									<b>4.27</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-108 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE POR M2

Partida	01.02	CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE						
Rendimiento	m2/DIA	MO.	4,921.2600	EQ.	4,921.2600	Costo unitario directo por : m2	62.66	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>								
0147010002	OPERARIO		hh		1.0000	0.0016	17.80	0.03
0147010004	PEON		hh		4.0000	0.0065	13.77	0.09
0147010100	CAPATAZ		hh		1.0000	0.0016	19.58	0.03
								<b>0.15</b>
<b>Equipos</b>								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.15		
0348040034	CAMION VOLQUETE 12 M3.		hm		2.0000	0.0033	140.00	0.46
0349030021	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 135		hm		1.0000	0.0016	110.00	0.18
0349030046	RODILLO TANDEM VIB.AUTOP 111-		hm		1.0000	0.0016	110.00	0.18
0349250004	PAVIMENTADORA NEUMATICA		hm		1.0000	0.0016	160.00	0.26
								<b>1.08</b>
<b>Subpartidas</b>								
901153010101	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE		m2		1.3000	47.25		61.43
								<b>61.43</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-109 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2" POR M3

Partida	01.03	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2"						
Rendimiento	m3/DIA	MO.	274.3200	EQ.	274.3200	Costo unitario directo por : m3	580.59	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>								
0147010002	OPERARIO		hh		2.0000	0.0583	17.80	1.04
0147010003	OFICIAL		hh		1.0000	0.0292	15.27	0.45
0147010004	PEON		hh		6.0000	0.1750	13.77	2.41
0147010100	CAPATAZ		hh		1.0000	0.0292	19.58	0.57
								<b>4.47</b>
<b>Materiales</b>								
0204000005	FILLER		kg		28.1300	2.60		73.14
0205000034	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" A 3/4"		m3		1.0650	65.00		69.23
0205010004	ARENA GRUESA		m3		3.9470	65.00		256.56
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100		gln		4.5400	17.50		79.45
0253100004	PETROLEO DIESEL		gln		1.7500	11.30		19.78
								<b>498.16</b>
<b>Equipos</b>								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	4.47		0.13
0349040010	CARGADOR S/LLANTAS 125-155 HP 3 YD3.		hm		1.0000	0.0292	200.00	5.84
0349050020	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115 TON/H		hm		1.0000	0.0292	2,200.00	64.24
0349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW		hm		1.0000	0.0292	250.00	7.30
0349260099	SECADOR DE ARIDOS		hm		1.0000	0.0292	15.50	0.45
								<b>77.96</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-110 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2" POR M3

Partida	01.04		CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2"						
Rendimiento	m3/DIA	MO.	274.3200	EQ.	274.3200		Costo unitario directo por : m3	776.80	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
<b>Mano de Obra</b>									
014701002	OPERARIO		hh		1.0000	0.0292	17.80	0.52	
014701004	PEON		hh		4.0000	0.1167	13.77	1.61	
014701010	CAPATAZ		hh		1.0000	0.0292	19.58	0.57	
								2.70	
<b>Equipos</b>									
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO			3.0000	2.70	0.08	
0348040034	CAMION VOLQUETE 12 M3.		hm		2.0000	0.0583	140.00	8.16	
0349030021	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 135 HP 9-26 TO		hm		1.0000	0.0292	110.00	3.21	
0349030046	RODILLO TANDEM VIB.AUTOP 111-130HP 9-11T		hm		1.0000	0.0292	110.00	3.21	
0349250004	PAVIMENTADORA NEUMATICA		hm		1.0000	0.0292	160.00	4.67	
								19.33	
<b>Subpartidas</b>									
901153010104	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2"		m3			1.3000	580.59	754.77	
								754.77	

Fuente: Elaboración Propia (S10)

## 4.5.2. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBS

Tabla IV-111 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA POR M2

Partida	02.01		MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO SBS EN CALIENTE						
Rendimiento	m2/DIA	MO.	750.0000	EQ.	750.0000		Costo unitario directo por : m2	88.13	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
<b>Mano de Obra</b>									
0147010002	OPERARIO		hh		2.0000	0.0213	17.80	0.38	
0147010003	OFICIAL		hh		1.0000	0.0107	15.27	0.16	
0147010004	PEON		hh		6.0000	0.0640	13.77	0.88	
0147010100	CAPATAZ		hh		1.0000	0.0107	19.58	0.21	
								1.63	
<b>Materiales</b>									
0204000005	FILLER		kg		1.5600	2.60	4.06		
0205000034	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" A 3/4"		m3		0.0493	65.00	3.20		
0205010004	ARENA GRUESA		m3		0.2000	65.00	13.00		
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100		gln		1.2200	17.50	21.35		
0229710005	POLIMERO SBS		kg		0.3000	16.00	4.80		
0253100004	PETROLEO DIESEL		gln		0.1000	11.30	1.13		
								47.54	
<b>Equipos</b>									
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO			3.0000	1.63	0.05	
0348060006	MOLINO COLOIDAL CHP-240		hm		1.0000	0.0107	600.00	6.42	
0349040010	CARGADOR S/LLANTAS 125-155 HP 3 YD3.		hm		1.0000	0.0107	200.00	2.14	
0349050020	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115 TON/H		hm		1.0000	0.0107	2,200.00	23.54	
0349110093	AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO		hm		1.0000	0.0107	20.00	0.21	
0349110094	INENTERS BOMBA ASFALTO		hm		1.0000	0.0107	350.00	3.75	
0349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW		hm		1.0000	0.0107	250.00	2.68	
0349260099	SECADOR DE ARIDOS		hm		1.0000	0.0107	15.50	0.17	
								38.96	

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-112 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE POR M2

Partida	02.02		CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POLIMERO SBS EN CALIENTE					
Rendimiento	m2/DIA	MO.	750.0000	EQ.	750.0000		Costo unitario directo por : m2	122.64
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO		hh		1.0000	0.0107	17.80	0.19
0147010004	PEON		hh		4.0000	0.0427	13.77	0.59
0147010100	CAPATAZ		hh		1.0000	0.0107	19.58	0.21
								<b>0.99</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO			3.0000	0.99	0.03
0348040034	CAMION VOLQUETE 12 M3.		hm		2.0000	0.0213	140.00	2.98
0349030021	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 135 HP 9-26 TO		hm		1.0000	0.0107	110.00	1.18
0349030046	RODILLO TANDEM VIB.AUTOP 111-130HP 9-11T		hm		1.0000	0.0107	110.00	1.18
0349250004	PAVIMENTADORA NEUMATICA		hm		1.0000	0.0107	160.00	1.71
								<b>7.08</b>
		<b>Subpartidas</b>						
901153010110	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO S	m2				1.3000	88.13	114.57
								<b>114.57</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-113 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2" POR M3

Partida	02.03		MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO SBS EN CALIENTE 2"					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	50.0000	EQ.	50.0000		Costo unitario directo por : m3	1,198.35
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO		hh		2.0000	0.3200	17.80	5.70
0147010003	OFICIAL		hh		1.0000	0.1600	15.27	2.44
0147010004	PEON		hh		6.0000	0.9600	13.77	13.22
0147010100	CAPATAZ		hh		1.0000	0.1600	19.58	3.13
								<b>24.49</b>
		<b>Materiales</b>						
0204000005	FILLER		kg		28.1300	2.60		73.14
0205000034	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" A 3/4"		m3		1.0600	65.00		68.90
0205010004	ARENA GRUESA		m3		3.9400	65.00		256.10
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100		gln		4.5400	17.50		79.45
0229710005	POLIMERO SBS		kg		5.8800	16.00		94.08
0253100004	PETROLEO DIESEL		gln		1.7500	11.30		19.78
								<b>591.45</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO			3.0000	24.49	0.73
0348060006	MOLINO COLOIDAL CHP-240		hm		1.0000	0.1600	600.00	96.00
0349040010	CARGADOR S/LLANTAS 125-155 HP 3 YD3.		hm		1.0000	0.1600	200.00	32.00
0349050020	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115 TON/H		hm		1.0000	0.1600	2,200.00	352.00
0349110093	AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO		hm		1.0000	0.1600	20.00	3.20
0349110094	INENTERS BOMBA ASFALTO		hm		1.0000	0.1600	350.00	56.00
0349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW		hm		1.0000	0.1600	250.00	40.00
0349260099	SECADOR DE ARIDOS		hm		1.0000	0.1600	15.50	2.48
								<b>582.41</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-114 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2" POR M3

Partida	02.04		CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POLIMERO SBS EN CALIENTE 2"					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	50.0000	EQ.	50.0000		Costo unitario directo por : m3	1,678.69
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO			hh	1.0000	0.1600	17.80	2.85
0147010004	PEON			hh	4.0000	0.6400	13.77	8.81
0147010100	CAPATAZ			hh	1.0000	0.1600	19.58	3.13
								<b>14.79</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	14.79	0.44
0348040034	CAMION VOLQUETE 12 M3.			hm	2.0000	0.3200	140.00	44.80
0349030021	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 135 HP 9-26 TO			hm	1.0000	0.1600	110.00	17.60
0349030046	RODILLO TANDEM VIB.AUTOP 111-130HP 9-11T			hm	1.0000	0.1600	110.00	17.60
0349250004	PAVIMENTADORA NEUMATICA			hm	1.0000	0.1600	160.00	25.60
								<b>106.04</b>
		<b>Subpartidas</b>						
901153010111	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO S			m3		1.3000	1,198.35	1,557.86
								<b>1,557.86</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

### 4.5.3. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO EVA

Tabla IV-115 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA POR M2

Partida	03.01		MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO EVA EN CALIENTE					
Rendimiento	m2/DIA	MO.	750.0000	EQ.	750.0000		Costo unitario directo por : m2	88.83
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO			hh	2.0000	0.0213	17.80	0.38
0147010003	OFICIAL			hh	1.0000	0.0107	15.27	0.16
0147010004	PEON			hh	6.0000	0.0640	13.77	0.88
0147010100	CAPATAZ			hh	1.0000	0.0107	19.58	0.21
								<b>1.63</b>
		<b>Materiales</b>						
0204000005	FILLER			kg		1.5600	2.60	4.06
0205000034	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" A 3/4"			m3		0.0493	65.00	3.20
0205010004	ARENA GRUESA			m3		0.2000	65.00	13.00
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100			gln		1.2200	17.50	21.35
0229710004	POLIMERO EVA			kg		0.2500	22.00	5.50
0253100004	PETROLEO DIESEL			gln		0.1000	11.30	1.13
								<b>48.24</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	1.63	0.05
0348060006	MOLINO COLOIDAL CHP-240			hm	1.0000	0.0107	600.00	6.42
0349040010	CARGADOR S/LLANTAS 125-155 HP 3 YD3.			hm	1.0000	0.0107	200.00	2.14
0349050020	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115 TON/H			hm	1.0000	0.0107	2,200.00	23.54
0349110093	AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO			hm	1.0000	0.0107	20.00	0.21
0349110094	INENTERS BOMBA ASFALTO			hm	1.0000	0.0107	350.00	3.75
0349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW			hm	1.0000	0.0107	250.00	2.68
0349260099	SECADOR DE ARIDOS			hm	1.0000	0.0107	15.50	0.17
								<b>38.96</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-116 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE POR M2

Partida	03.02		CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POLIMERO EVA EN CALIENTE					
Rendimiento	m2/DIA	MO.	750.0000	EQ.	750.0000		Costo unitario directo por : m2	123.55
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO			hh	1.0000	0.0107	17.80	0.19
0147010004	PEON			hh	4.0000	0.0427	13.77	0.59
0147010100	CAPATAZ			hh	1.0000	0.0107	19.58	0.21
								<b>0.99</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	0.99	0.03
0348040034	CAMION VOLQUETE 12 M3.			hm	2.0000	0.0213	140.00	2.98
0349030021	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 135 HP 9-26 TO			hm	1.0000	0.0107	110.00	1.18
0349030046	RODILLO TANDEM VIB.AUTOP 111-130HP 9-11T			hm	1.0000	0.0107	110.00	1.18
0349250004	PAVIMENTADORA NEUMATICA			hm	1.0000	0.0107	160.00	1.71
								<b>7.08</b>
		<b>Subpartidas</b>						
901153010106	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO EVA			m2		1.3000	88.83	115.48
								<b>115.48</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-117 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2" POR M3

Partida	03.03		MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO EVA EN CALIENTE 2"					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	50.0000	EQ.	50.0000		Costo unitario directo por : m3	1,210.53
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO			hh	2.0000	0.3200	17.80	5.70
0147010003	OFICIAL			hh	1.0000	0.1600	15.27	2.44
0147010004	PEON			hh	6.0000	0.9600	13.77	13.22
0147010100	CAPATAZ			hh	1.0000	0.1600	19.58	3.13
								<b>24.49</b>
		<b>Materiales</b>						
0204000005	FILLER			kg		28.1300	2.60	73.14
0205000034	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" A 3/4"			m3		1.0600	65.00	68.90
0205010004	ARENA GRUESA			m3		3.9400	65.00	256.10
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100			gln		4.5400	17.50	79.45
0229710004	POLIMERO EVA			kg		4.8300	22.00	106.26
0253100004	PETROLEO DIESEL			gln		1.7500	11.30	19.78
								<b>603.63</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	24.49	0.73
0348060006	MOLINO COLOIDAL CHP-240			hm	1.0000	0.1600	600.00	96.00
0349040010	CARGADOR S/LLANTAS 125-155 HP 3 YD3.			hm	1.0000	0.1600	200.00	32.00
0349050020	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115 TON/H			hm	1.0000	0.1600	2,200.00	352.00
0349110093	AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO			hm	1.0000	0.1600	20.00	3.20
0349110094	INENTERS BOMBA ASFALTO			hm	1.0000	0.1600	350.00	56.00
0349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW			hm	1.0000	0.1600	250.00	40.00
0349260099	SECADOR DE ARIDOS			hm	1.0000	0.1600	15.50	2.48
								<b>582.41</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-118 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2" POR M3

Partida	03.04		CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POLIMERO EVA EN CALIENTE 2"					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	50.0000	EQ.	50.0000		Costo unitario directo por : m3	1,694.52
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		<b>Mano de Obra</b>						
014701002	OPERARIO			hh	1.0000	0.1600	17.80	2.85
014701004	PEON			hh	4.0000	0.6400	13.77	8.81
014701010	CAPATAZ			hh	1.0000	0.1600	19.58	3.13
								<b>14.79</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	14.79	0.44
0348040034	CAMION VOLQUETE 12 M3.			hm	2.0000	0.3200	140.00	44.80
0349030021	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 135 HP 9-26 TO			hm	1.0000	0.1600	110.00	17.60
0349030046	RODILLO TANDEM VIB.AUTOP 111-130HP 9-11T			hm	1.0000	0.1600	110.00	17.60
0349250004	PAVIMENTADORA NEUMATICA			hm	1.0000	0.1600	160.00	25.60
								<b>106.04</b>
		<b>Subpartidas</b>						
901153010108	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO	m3				1.3000	1,210.53	1,573.69
								<b>1,573.69</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

#### 4.5.4. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBR

Tabla IV-119 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA POR M2

Partida	04.01		MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO SBR EN CALIENTE					
Rendimiento	m2/DIA	MO.	750.0000	EQ.	750.0000		Costo unitario directo por : m2	93.83
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		<b>Mano de Obra</b>						
014701002	OPERARIO			hh	2.0000	0.0213	17.80	0.38
014701003	OFICIAL			hh	1.0000	0.0107	15.27	0.16
014701004	PEON			hh	6.0000	0.0640	13.77	0.88
014701010	CAPATAZ			hh	1.0000	0.0107	19.58	0.21
								<b>1.63</b>
		<b>Materiales</b>						
0204000005	FILLER			kg		1.5600	2.60	4.06
0205000034	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" A 3/4"			m3		0.0493	65.00	3.20
0205010004	ARENA GRUESA			m3		0.2000	65.00	13.00
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100			gln		1.2200	17.50	21.35
0229710006	POLIMERO SBR			kg		0.3500	30.00	10.50
0253100004	PETROLEO DIESEL			gln		0.1000	11.30	1.13
								<b>53.24</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	1.63	0.05
0348060006	MOLINO COLOIDAL CHP-240			hm	1.0000	0.0107	600.00	6.42
0349040010	CARGADOR S/LLANTAS 125-155 HP 3 YD3.			hm	1.0000	0.0107	200.00	2.14
0349050020	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115 TON/H			hm	1.0000	0.0107	2,200.00	23.54
0349110093	AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO			hm	1.0000	0.0107	20.00	0.21
0349110094	INENTERS BOMBA ASFALTO			hm	1.0000	0.0107	350.00	3.75
0349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW			hm	1.0000	0.0107	250.00	2.68
0349260099	SECADOR DE ARIDOS			hm	1.0000	0.0107	15.50	0.17
								<b>38.96</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-120 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE POR M2

Partida	04.02		CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POLIMERO SBR EN CALIENTE					
Rendimiento	m2/DIA	MO.	750.0000	EQ.	750.0000		Costo unitario directo por : m2	130.05
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO			hh	1.0000	0.0107	17.80	0.19
0147010004	PEON			hh	4.0000	0.0427	13.77	0.59
0147010100	CAPATAZ			hh	1.0000	0.0107	19.58	0.21
								<b>0.99</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	0.99	0.03
0348040034	CAMION VOLQUETE 12 M3.			hm	2.0000	0.0213	140.00	2.98
0349030021	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 135 HP 9-26 TO			hm	1.0000	0.0107	110.00	1.18
0349030046	RODILLO TANDEM VIB.AUTOP 111-130HP 9-11T			hm	1.0000	0.0107	110.00	1.18
0349250004	PAVIMENTADORA NEUMATICA			hm	1.0000	0.0107	160.00	1.71
								<b>7.08</b>
		<b>Subpartidas</b>						
901153010114	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO S	m2				1.3000	93.83	121.98
								<b>121.98</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-121 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2" POR M3

Partida	04.03		MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO SBR EN CALIENTE 2"					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	50.0000	EQ.	50.0000		Costo unitario directo por : m3	1,295.07
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO			hh	2.0000	0.3200	17.80	5.70
0147010003	OFICIAL			hh	1.0000	0.1600	15.27	2.44
0147010004	PEON			hh	6.0000	0.9600	13.77	13.22
0147010100	CAPATAZ			hh	1.0000	0.1600	19.58	3.13
								<b>24.49</b>
		<b>Materiales</b>						
0204000005	FILLER			kg		28.1300	2.60	73.14
0205000034	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" A 3/4"			m3		1.0600	65.00	68.90
0205010004	ARENA GRUESA			m3		3.9400	65.00	256.10
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100			gln		4.5400	17.50	79.45
0229710006	POLIMERO SBR			kg		6.3600	30.00	190.80
0253100004	PETROLEO DIESEL			gln		1.7500	11.30	19.78
								<b>688.17</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	24.49	0.73
0348060006	MOLINO COLOIDAL CHP-240			hm	1.0000	0.1600	600.00	96.00
0349040010	CARGADOR S/LLANTAS 125-155 HP 3 YD3.			hm	1.0000	0.1600	200.00	32.00
0349050020	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115 TON/H			hm	1.0000	0.1600	2,200.00	352.00
0349110093	AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO			hm	1.0000	0.1600	20.00	3.20
0349110094	INENTERS BOMBA ASFALTO			hm	1.0000	0.1600	350.00	56.00
0349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW			hm	1.0000	0.1600	250.00	40.00
0349260099	SECADOR DE ARIDOS			hm	1.0000	0.1600	15.50	2.48
								<b>582.41</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-122 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2" POR M3

Partida	04.04		CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POLIMERO SBR EN CALIENTE 2"					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	50.0000	EQ.	50.0000		Costo unitario directo por : m3	1,804.42
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
		<b>Mano de Obra</b>						
014701002	OPERARIO			hh	1.0000	0.1600	17.80	2.85
014701004	PEON			hh	4.0000	0.6400	13.77	8.81
014701010	CAPATAZ			hh	1.0000	0.1600	19.58	3.13
								<b>14.79</b>
		<b>Equipos</b>						
033701001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	14.79	0.44
0348040034	CAMION VOLQUETE 12 M3.			hm	2.0000	0.3200	140.00	44.80
0349030021	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 135 HP 9-26 TO			hm	1.0000	0.1600	110.00	17.60
0349030046	RODILLO TANDEM VIB.AUTOP 111-130HP 9-11T			hm	1.0000	0.1600	110.00	17.60
0349250004	PAVIMENTADORA NEUMATICA			hm	1.0000	0.1600	160.00	25.60
								<b>106.04</b>
		<b>Subpartidas</b>						
901153010116	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO S	m3				1.3000	1,295.07	1,683.59
								<b>1,683.59</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

#### 4.5.5. ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO

Tabla IV-123 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA POR M2

Partida	05.01		MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON CAUCHO EN CALIENTE					
Rendimiento	m2/DIA	MO.	750.0000	EQ.	750.0000		Costo unitario directo por : m2	96.13
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
		<b>Mano de Obra</b>						
014701002	OPERARIO			hh	2.0000	0.0213	17.80	0.38
014701003	OFICIAL			hh	1.0000	0.0107	15.27	0.16
014701004	PEON			hh	6.0000	0.0640	13.77	0.88
014701010	CAPATAZ			hh	1.0000	0.0107	19.58	0.21
								<b>1.63</b>
		<b>Materiales</b>						
0204000005	FILLER			kg		1.5600	2.60	4.06
0205000034	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" A 3/4"			m3		0.0493	65.00	3.20
0205010004	ARENA GRUESA			m3		0.2000	65.00	13.00
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100			gln		1.2200	17.50	21.35
0229710007	CAUCHO			kg		0.4000	32.00	12.80
0253100004	PETROLEO DIESEL			gln		0.1000	11.30	1.13
								<b>55.54</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	1.63	0.05
0348060006	MOLINO COLOIDAL CHP-240			hm	1.0000	0.0107	600.00	6.42
0349040010	CARGADOR S/LLANTAS 125-155 HP 3 YD3.			hm	1.0000	0.0107	200.00	2.14
0349050020	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115 TON/H			hm	1.0000	0.0107	2,200.00	23.54
0349110093	AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO			hm	1.0000	0.0107	20.00	0.21
0349110094	INENTERS BOMBA ASFALTO			hm	1.0000	0.0107	350.00	3.75
0349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW			hm	1.0000	0.0107	250.00	2.68
0349260099	SECADOR DE ARIDOS			hm	1.0000	0.0107	15.50	0.17
								<b>38.96</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-124 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE POR M2

Partida	05.02		CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO CON CAUCHO EN CALIENTE					
Rendimiento	m2/DIA	MO.	750.0000	EQ.	750.0000		Costo unitario directo por : m2	133.04
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO			hh	1.0000	0.0107	17.80	0.19
0147010004	PEON			hh	4.0000	0.0427	13.77	0.59
0147010100	CAPATAZ			hh	1.0000	0.0107	19.58	0.21
								<b>0.99</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	0.99	0.03
0348040034	CAMION VOLQUETE 12 M3.			hm	2.0000	0.0213	140.00	2.98
0349030021	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 135 HP 9-26 TO			hm	1.0000	0.0107	110.00	1.18
0349030046	RODILLO TANDEM VIB.AUTOP 111-130HP 9-11T			hm	1.0000	0.0107	110.00	1.18
0349250004	PAVIMENTADORA NEUMATICA			hm	1.0000	0.0107	160.00	1.71
								<b>7.08</b>
		<b>Subpartidas</b>						
901153010118	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON CAUCHO			m2		1.3000	96.13	124.97
								<b>124.97</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-125 A.P.U. MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE 2" POR M3

Partida	05.03		MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON CAUCHO EN CALIENTE 2"					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	50.0000	EQ.	50.0000		Costo unitario directo por : m3	1,344.91
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO			hh	2.0000	0.3200	17.80	5.70
0147010003	OFICIAL			hh	1.0000	0.1600	15.27	2.44
0147010004	PEON			hh	6.0000	0.9600	13.77	13.22
0147010100	CAPATAZ			hh	1.0000	0.1600	19.58	3.13
								<b>24.49</b>
		<b>Materiales</b>						
0204000005	FILLER			kg		28.1300	2.60	73.14
0205000034	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" A 3/4"			m3		1.0600	65.00	68.90
0205010004	ARENA GRUESA			m3		3.9400	65.00	256.10
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100			gln		4.5400	17.50	79.45
0229710007	CAUCHO			kg		7.5200	32.00	240.64
0253100004	PETROLEO DIESEL			gln		1.7500	11.30	19.78
								<b>738.01</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	24.49	0.73
0348060006	MOLINO COLOIDAL CHP-240			hm	1.0000	0.1600	600.00	96.00
0349040010	CARGADOR S/LLANTAS 125-155 HP 3 YD3.			hm	1.0000	0.1600	200.00	32.00
0349050020	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115 TON/H			hm	1.0000	0.1600	2,200.00	352.00
0349110093	AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO			hm	1.0000	0.1600	20.00	3.20
0349110094	INENTERS BOMBA ASFALTO			hm	1.0000	0.1600	350.00	56.00
0349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW			hm	1.0000	0.1600	250.00	40.00
0349260099	SECADOR DE ARIDOS			hm	1.0000	0.1600	15.50	2.48
								<b>582.41</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

Tabla IV-126 A.P.U. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE 2" POR M3

Partida	05.04		CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO CON CAUCHO EN CALIENTE 2"					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	50.0000	EQ.	50.0000		Costo unitario directo por : m3	1,869.21
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
		<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO			hh	1.0000	0.1600	17.80	2.85
0147010004	PEON			hh	4.0000	0.6400	13.77	8.81
0147010100	CAPATAZ			hh	1.0000	0.1600	19.58	3.13
								<b>14.79</b>
		<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	14.79	0.44
0348040034	CAMION VOLQUETE 12 M3.			hm	2.0000	0.3200	140.00	44.80
0349030021	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 135 HP 9-26 TO			hm	1.0000	0.1600	110.00	17.60
0349030046	RODILLO TANDEM VIB.AUTOP 111-130HP 9-11T			hm	1.0000	0.1600	110.00	17.60
0349250004	PAVIMENTADORA NEUMATICA			hm	1.0000	0.1600	160.00	25.60
								<b>106.04</b>
		<b>Subpartidas</b>						
901153010120	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON CAUCHO			m3		1.3000	1,344.91	1,748.38
								<b>1,748.38</b>

Fuente: Elaboración Propia (S10)

## 4.6. ANÁLISIS DE FIABILIDAD Y CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS.

### 4.6.1. ALFA DE CRONBACH

#### Escala: TODAS LAS VARIABLES

TABLA IV-127 RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE LOS CASOS

	N	%
Válidos	30	100,0
Casos Excluidos	0	,0
Total	30	100,0

TABLA IV-128 ESTADISTICOS DE FIABILIDAD

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	N de elementos
,663	,685	11

TABLA IV-129 ESTADÍSTICOS DE LOS ELEMENTOS

**Estadísticos de los elementos**

	Media	Desviación típica	N
BRIQUETAS	2,0000	,83045	30
% DE ASFALTO	,0475	,00254	30
% DE SBS	,0400	,01438	30
VOLUMENES	506,5263	18,25253	30
LECTURA FLUJO	9,7333	2,46259	30
FLUJO	2,4700	,63308	30
LECTURA DE ESTABILIDAD	338,5792	124,37943	30
ALTURA ESPECIMEN	63,9808	2,25618	30
FACTOR DE CORRECCION	,9818	,03671	30
ESTABILIDAD	1163,0197	427,24335	30
ESTABILIDAD CORREGIDA	1143,0170	419,69287	30

**4.6.2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES  
(CORRELACIÓN DE PEARSON)**

**a. Correlaciones**

TABLA IV-130 MATRIZ DE CORRELACIONES INTER-ELEMENTOS

	BRIQUETAS	% DE ASFALTO	% DE SBS	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO
BRIQUETAS	1,000	,000	,000	,184	-,101	-,105
% DE ASFALTO	,000	1,000	,000	,031	-,110	-,112
% DE SBS	,000	,000	1,000	,112	,292	,303
VOLUMENES	,184	,031	,112	1,000	,188	,194
LECTURA FLUJO	-,101	-,110	,292	,188	1,000	,999
FLUJO	-,105	-,112	,303	,194	,999	1,000
LECTURA DE ESTABILIDAD	,124	,109	,947	,030	,217	,227
ALTURA ESPECIMEN	,169	,021	,088	,982	,182	,189
FACTOR DE CORRECCION	-,067	,006	-,019	-,950	-,221	-,228
ESTABILIDAD	,124	,109	,947	,030	,217	,227
ESTABILIDAD CORREGIDA	,115	,105	,935	-,051	,202	,211

	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
BRIQUETAS	,124	,169	-,067	,124	,115
% DE ASFALTO	,109	,021	,006	,109	,105
% DE SBS	,947	,088	-,019	,947	,935
VOLUMENES	,030	,982	-,950	,030	-,051
LECTURA FLUJO	,217	,182	-,221	,217	,202
FLUJO	,227	,189	-,228	,227	,211
LECTURA DE ESTABILIDAD	1,000	-,007	,077	1,000	,996
ALTURA ESPECIMEN	-,007	1,000	-,977	-,007	-,089
FACTOR DE CORRECCION	,077	-,977	1,000	,077	,159
ESTABILIDAD	1,000	-,007	,077	1,000	,996
ESTABILIDAD CORREGIDA	,996	-,089	,159	,996	1,000

	BRIQUETAS	% DE ASFALTO	% DE SBS	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO
BRIQUETAS	,690	,000	,000	2,792	-,207	-,055
% DE ASFALTO	,000	,000	,000	,001	-,001	,000
% DE SBS	,000	,000	,000	,029	,010	,003
VOLUMENES	2,792	,001	,029	333,155	8,446	2,240
LECTURA FLUJO	-,207	-,001	,010	8,446	6,064	1,557
FLUJO	-,055	,000	,003	2,240	1,557	,401
LECTURA DE ESTABILIDAD	12,768	,035	1,695	68,468	66,521	17,875
ALTURA ESPECIMEN	,316	,000	,003	40,457	1,014	,270
FACTOR DE CORRECCION	-,002	,000	,000	-,636	-,020	-,005
ESTABILIDAD	43,858	,119	5,821	235,188	228,501	61,401
ESTABILIDAD CORREGIDA	40,186	,112	5,646	-388,616	208,420	56,005

	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
BRIQUETAS	12,768	,316	-,002	43,858	40,186
% DE ASFALTO	,035	,000	,000	,119	,112
% DE SBS	1,695	,003	,000	5,821	5,646
VOLUMENES	68,468	40,457	-,636	235,188	-388,616
LECTURA FLUJO	66,521	1,014	-,020	228,501	208,420
FLUJO	17,875	,270	-,005	61,401	56,005
LECTURA DE ESTABILIDAD	15470,243	-1,924	,351	53140,285	52009,331
ALTURA ESPECIMEN	-1,924	5,090	-,081	-6,610	-83,971
FACTOR DE CORRECCION	,351	-,081	,001	1,204	2,454
ESTABILIDAD	53140,285	-6,610	1,204	182536,879	178652,050

ESTABILIDAD CORREGIDA	52009,331	-83,971	2,454	178652,050	176142,102
--------------------------	-----------	---------	-------	------------	------------

	Media	Mínimo	Máximo	Rango	Máximo/mínimo	Varianza
Medias de los elementos	293,672	,040	1163,020	1162,980	29075,492	208582,887
Varianzas de los elementos	34044,966	,000	182536,879	182536,879	28232370565,856	5183553492,726
Covarianzas inter-elementos	5171,515	-388,616	178652,050	179040,667	-459,713	660087988,442
Correlaciones inter-elementos	,165	-,977	1,000	1,977	-1,024	,164
				N de elementos		
Medias de los elementos				11		
Varianzas de los elementos				11		
Covarianzas inter-elementos				11		
Correlaciones inter-elementos				11		

### TABLA RESUMEN TOTAL ESTADÍSTICOS

Estadísticos total-elemento

	Media de la escala si se elimina el elemento	Varianza de la escala si se elimina el elemento	Correlación elemento-total corregida	Correlación múltiple al cuadrado	Alfa de Cronbach si se elimina el elemento
BRIQUETAS	3228,3956	943161,233	,124	.	,670
% DE ASFALTO	3230,3481	943360,703	,108	.	,670
% DE SBS	3230,3656	943334,820	,945	.	,670
VOLUMENES	2723,8693	943091,342	-,002	.	,670
LECTURA FLUJO	3220,6623	942326,686	,215	.	,670
FLUJO	3227,9256	943082,253	,227	.	,670
LECTURA DE ESTABILIDAD	2891,8164	717260,185	1,000	.	,555
ALTURA ESPECIMEN	3166,4148	943457,198	-,023	.	,670
FACTOR DE CORRECCION	3229,4138	943354,706	,092	.	,670
ESTABILIDAD	2087,3760	296100,720	,999	.	,391
ESTABILIDAD CORREGIDA	2087,3787	306215,898	,992	.	,391

#### 4.7. PRUEBA DE HIPÓTESIS: HIPÓTESIS GENERAL

1. La influencia de los polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) en la modificación de asfaltos convencionales presentan mejores características que las de un asfalto convencional en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca. 2018

#### Cálculo del Estimado Puntual o Centrado: PRUEBA DE HIPÓTESIS.

$$P(\bar{X} - E_0 \leq \mu \leq \bar{X} + E_0) = 1 - \alpha; \quad E_0 = \frac{Z_0 \cdot \delta}{\sqrt{n}}$$

$$1.954 \leq \mu \leq 2.426$$

**Cálculo de  $Z_0$**  :  $Z_0 = 1.96$

**Reemplazando** :  $\mu = 1.9$

#### Prueba de Hipótesis concerniente a la Media Poblacional:

$$H_0 : \mu = 1.9$$

$$H_1 : \mu > 1.9$$

$H_0 = \text{No}$ , la influencia de los polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) en la modificación de asfaltos convencionales presentan mejores características que las de un asfalto convencional en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca. 2018

$H_1 = \text{Sí}$ , la influencia de los polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) en la modificación de asfaltos convencionales presentan mejores características que las de un asfalto convencional en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca. 2018

**Regla de Decisión:**

Se rechaza  $H_0$  si:

$$t > -t_{1-\alpha}^{(gl)}$$

**Cálculo de “t”:**

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad t = 2.4$$

**Cálculo de  $t_c$ :**

$$t_{1-\alpha}^{(gl)} \quad t_c = \pm 1.04$$

**Decisión:**

$$t > -t_{1-\alpha}^{(gl)}$$

$$2.4 > -1.04$$

**Interpretación:**

Se acepta la  $H_1$ : “Sí, la influencia de los polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) en la modificación de asfaltos convencionales presentan mejores características en un 65% que las de un asfalto convencional en la carretera Pilcomayo - Chupaca. 2018” y se rechaza la  $H_0$ : debido a que el valor de  $t_c = \pm 1.04$  se encuadra en la zona de rechazo derecha e izquierda del Coeficiente de Pearson

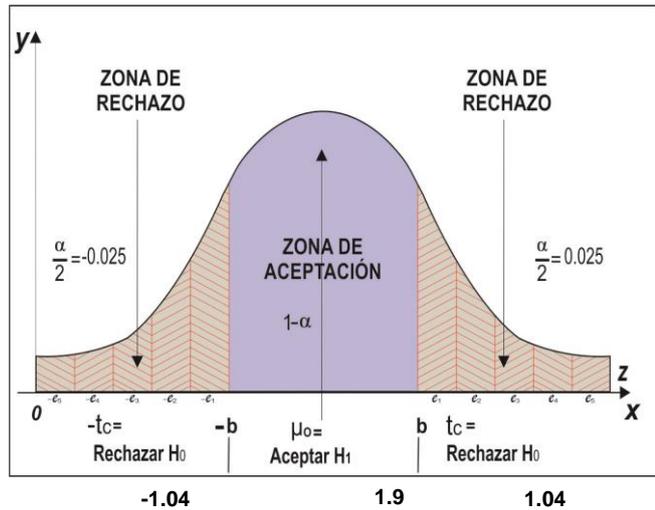
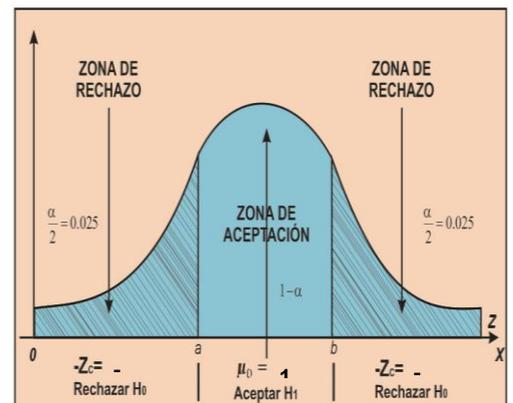


FIGURA IV-25 CURVA SIMETRICA DE GAUSS

**4.7.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS – HIPÓTESIS ALTERNATIVA “A”.**

- Las propiedades mecánicas de los asfaltos convencionales modificados con polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) serán que las de un asfalto convencional sin modificar en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca. 2018.



**Cálculo del Estimado Puntual o Centrado: PRUEBA DE HIPÓTESIS.**

$$P(\bar{X} - E_0 \leq \mu \leq \bar{X} + E_0) = 1 - \alpha; \quad E_0 = \frac{Z_0 \cdot \delta}{\sqrt{n}}$$

$$1.821 \leq \mu \leq 2.399$$

**Cálculo de  $Z_0$**  :  $Z_0 = 1.96$

**Reemplazando** :  $\mu = 1.8$

**Prueba de Hipótesis concerniente a la Media Poblacional:**

$$H_0 : \mu = 1.8$$

$$H_1 : \mu > 1.8$$

$H_0$  = Nunca, las propiedades mecánicas de los asfaltos convencionales modificados con polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) serán que las de un asfalto convencional sin modificar en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca 2018.

$H_1$  = Siempre, las propiedades mecánicas de los asfaltos convencionales modificados con polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) serán mejores que las de un asfalto convencional sin modificar en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca. 2018.

**Regla de Decisión:**

Se rechaza  $H_0$  si:

$$t > -t_{1-\alpha}^{(gl)}$$

**Cálculo de "t":**

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$t = 2.06$$

**Cálculo de  $t_c$ :**

$$t_{1-\alpha}^{(gl)}$$

$$t_c = 1.71$$

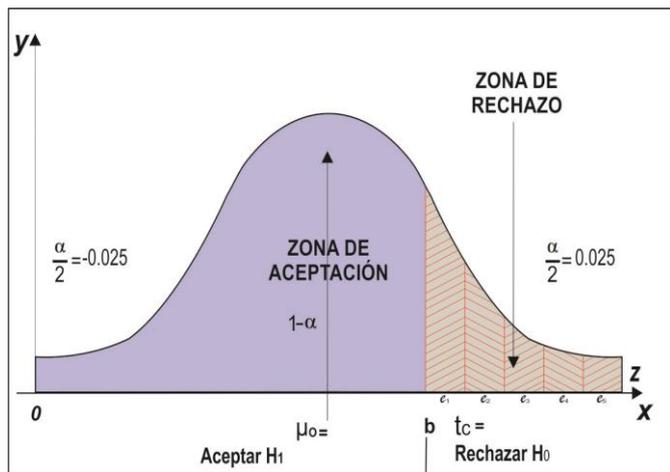


FIGURA IV-26 CURVA SIMETRICA DE GAUSS 1.71

**Decisión:**

$$t > -t_{1-\alpha} \text{ (gl)}$$

$$2.06 > 1.71$$

**Interpretación:**

Se acepta la  $H_1$ : “Siempre, las propiedades mecánicas de los asfaltos convencionales modificados con polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) serán mejores en un 31% que las de un asfalto convencional sin modificar en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca. 2018” y se rechaza la  $H_0$ ; debido a que el valor de  $t_c = 1.71$ , se encuadra en la zona de rechazo derecha de la Curva Simétrica de Gauss (Coeficiente de Pearson).

**4.7.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS – HIPÓTESIS ALTERNATIVA “B”.**

- 3. El costo beneficio de la colocación de polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) como modificación de asfaltos convencionales en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca será costoso y poco beneficioso.

**Cálculo del Estimado Puntual o Centrado: PRUEBA DE HIPÓTESIS.**

$$P(\bar{X} - E_0 \leq \mu \leq \bar{X} + E_0) = 1 - \alpha; \quad E_0 = \frac{Z_0 \cdot \delta}{\sqrt{n}}$$

$$2.0 \leq \mu \leq 3.3$$

**Cálculo de  $Z_0$**  :  $Z_0 = 1.96$

**Reemplazando** :  $\mu = 2.00$

**Prueba de Hipótesis concerniente a la Media Poblacional:**

$$H_0 : \mu = 2.00$$
$$H_1 : \mu > 2.00$$

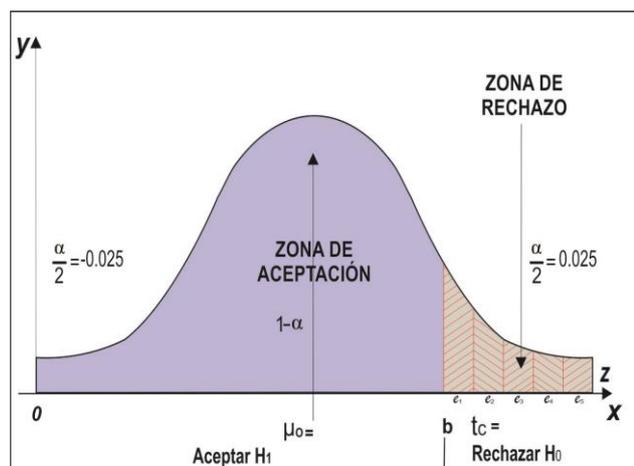
$H_0$ = No, el costo beneficio de la colocación de polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) como modificación de asfaltos convencionales en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca será costoso y poco beneficioso.

$H_1$ = Sí, el costo beneficio de la colocación de polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) como modificación de asfaltos convencionales en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca es costoso y poco beneficioso.

**Regla de Decisión:**

Se rechaza  $H_0$  si:

$$t > -t_{1-\alpha} \text{ (gl)}$$



**Cálculo de “t”:**

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \boxed{t = 5.5}$$

**Cálculo de t<sub>c</sub>:**

2.0

2.0

$$t_{1-\alpha}^{(gl)} \quad \boxed{t_c = 1.95}$$

**Decisión:**

**Interpretación:**

$$\boxed{t > -t_{1-\alpha}^{(gl)}}$$

$$\boxed{5.5 > 1.95}$$

Se acepta la H<sub>1</sub>: “Sí, el costo beneficio de la colocación de polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) como modificación de asfaltos convencionales en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca es costoso y poco beneficioso en un 23%” y se rechaza la H<sub>0</sub>; debido a que el valor de t<sub>c</sub> = 1.95, se encuadra en la zona de rechazo derecha de la Curva Simétrica de Gauss (Coeficiente de Pearson).

**4.7.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS – HIPÓTESIS ALTERNATIVA “C”.**

4. El polímero (EVA) es el más beneficioso en la modificación de asfaltos convencionales para la carretera Pilcomayo - Chupaca, a diferencia de los polímeros SBR, SBS y Caucho.

**Cálculo del Estimado Puntual o Centrado: PRUEBA DE HIPÓTESIS.**

$$\boxed{P(\bar{X} - E_0 \leq \mu \leq \bar{X} + E_0) = 1 - \alpha; \quad E_0 = \frac{Z_0 \cdot \delta}{\sqrt{n}}}$$

$$\boxed{1.1467 \leq \mu \leq 1.3136}$$

**Cálculo de Z<sub>0</sub>** :  $\boxed{Z_0 = 1.96}$

**Reemplazando** :  $\boxed{\mu = 1.8}$

**Prueba de Hipótesis concerniente a la Media Poblacional:**

$$\begin{aligned} H_0 : \mu &= 1.8 \\ H_1 : \mu &> 1.8 \end{aligned}$$

$H_0$ = No, el polímero (EVA) es el más beneficioso en la modificación de asfaltos convencionales para la carretera Pilcomayo - Chupaca, a diferencia de los polímeros SBR, SBS y Caucho

$H_1$ =Sí, el polímero (EVA) es el más beneficioso en la modificación de asfaltos convencionales para la carretera Pilcomayo - Chupaca, a diferencia de los polímeros SBR, SBS y Caucho.

**Regla de Decisión:**

Se rechaza  $H_0$  si:

$$t > -t_{1-\alpha} (gl)$$

**Cálculo de "t":**

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$t = 2.9$$

1.8

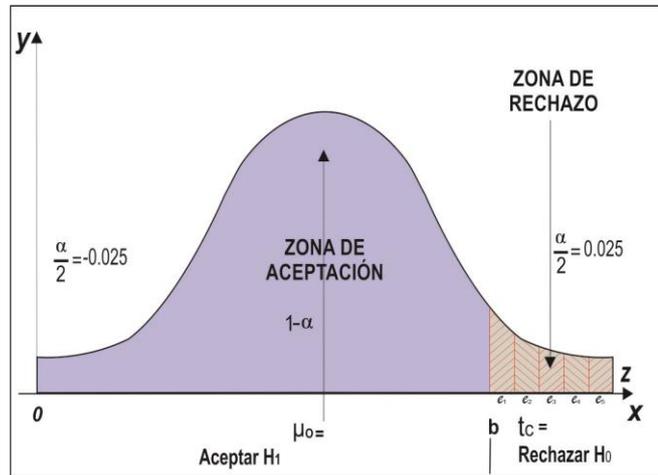


FIGURA IV-28 CURVA SIMETRICA DE GAUSS

**Cálculo de  $t_c$ :**

1.71

$t_{1-\alpha} (gl)$

$$t_c = 1.71$$

**Decisión:**

$$t > -t_{1-\alpha} (gl)$$

$$2.9 > 1.71$$

**Interpretación:**

Se acepta la  $H_1$ : "Sí, el polímero (EVA) es el más beneficioso en un 46% en la modificación de asfaltos convencionales para la carretera Pilcomayo - Chupaca, a diferencia de los polímeros SBR, SBS y Caucho" y se rechaza  $H_0$  debido a que el valor de  $t_c = 1.71$ , se encuadra en la zona de rechazo derecha de la Curva Simétrica de Gauss (Coeficiente de Pearson).

**CAPITULO V  
DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

**5.1. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL (CONVENCIONAL).**

Tabla V-1 RESULTADOS DE ENSAYO MARSHALL ASFALTO CONVENCIONAL

RESULTADOS ENSAYOS MARSHALL														
BROQUETA	%ASFALTO	PESO AIRE	PESO SATURADO	PESO BN AGUA	VOLUMEN BROQUETA	Gmb	Gmm	Va	VW	VAF	ESTABILIDAD			FLUIDO.01"
											MEIDA	CORREC	CORREGIDA	
1	4.50%	1158.00	1158.73	671	496.89	2.38	2.31	3.37%	10.33	51.88	455.88	1.053	480.04	14
2	4.50%	1163.00	1163.87	664	501.04	2.32	2.31	3.37%	11.07	55.08	438.73	1.003	440.05	14
3	4.50%	1174.00	1174.90	681	509.93	2.30	2.31	3.37%	6.04	17.74	431.68	0.98	423.05	13
						2.33	2.31	3.37%	9.15	41.57	442.10	1.01	447.71	14
1	5.00%	1200.00	1201.26	665	496.64	2.42	2.32	3.16%	8.98	49.57	555.31	1.053	584.74	9
2	5.00%	1209.00	1210.14	690	501.75	2.41	2.32	3.16%	8.01	43.45	521.03	1.013	527.80	10
3	5.00%	1175.00	1176.23	658	508.94	2.31	2.32	3.16%	7.06	35.84	510.74	0.977	498.99	8
						2.38	2.32	3.16%	8.02	42.95	529.03	1.01	537.18	9
1	5.50%	1215.00	1216.32	655	530.09	2.29	2.29	4.76%	7.84	45.03	966.77	0.938	906.83	8
2	5.50%	1198.00	1199.17	690	473.12	2.53	2.29	4.76%	8.18	47.3	956.91	1.056	1010.50	8
3	5.50%	1150.00	1151.26	665	506.75	2.27	2.29	4.76%	11.49	62.5	867.34	1.013	878.62	9

Fuente: Elaboración Propia ( Anexo 4 )

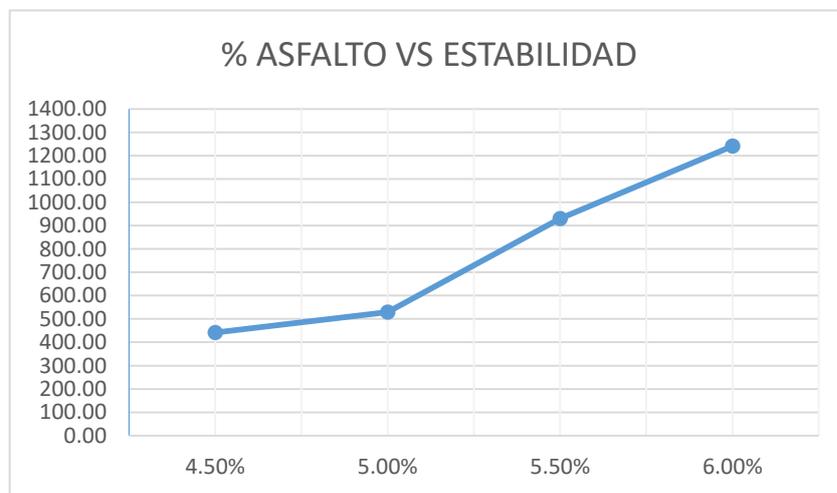


Figura V-1 % DE ASFALTO VS ESTABILIDAD

Fuente: Geolumas Sac

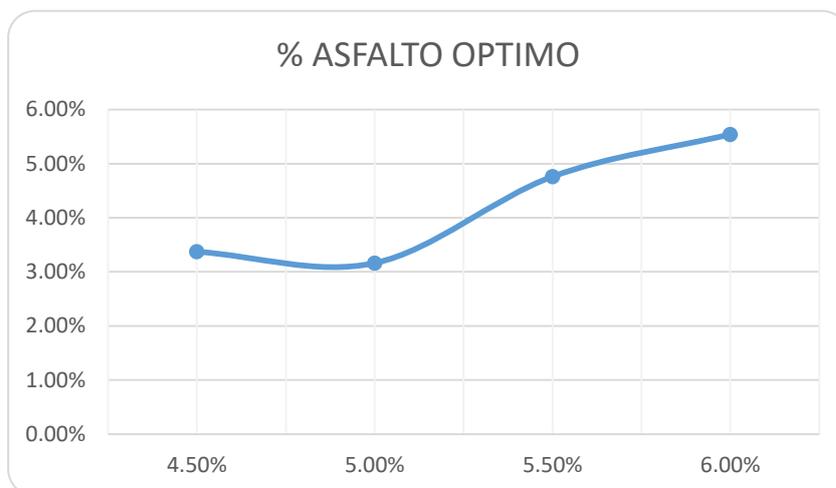


Figura V-2 % ASFALTO OPTIMO

Fuente: Geolumas Sac

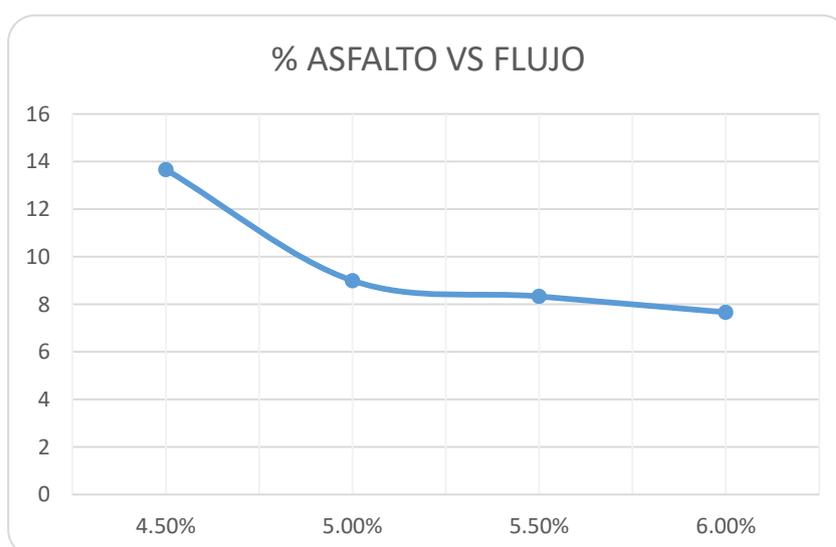


Figura V-3 % ASFALTO VS FLUJO

Fuente: Geolumas Sac

### 5.1.1. DISCUSION:

En el libro de **“Principios de construcción de pavimentos en mezcla asfáltica en caliente. Cap. 3, pág. 57 y Cap. 4, de Asphalt Institute MS-22”**, donde se menciona que la estabilidad es la resistencia a la deformación y que el flujo es la deformación, estas son características que constituyen para la buena calidad de los pavimentos de las mezclas asfálticas en caliente.

**“Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y por lo tanto menos durable que lo deseado.**

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

Aquellas que tiene valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito”.

Después de haber puntualizado y entendido la teoría esencial el siguiente paso fue elegir entre un punto ni tan alto ni tan bajo y que se encuentre en el rango de la norma para los valores de la estabilidad y de la misma manera para el flujo esto nos ayudó a elegir el porcentaje óptimo de asfalto.

Una vez realizado el análisis se pudo elegir el % que satisface con los corregida se consiguió un valor de 931.98 kg; en la Normativa Marshall (AASHTO T-245) indica que para el tránsito medio (según el acu) la estabilidad mínima debe ser de 544 kg.

De la misma manera y con el mismo procedimiento fue para el flujo, en la normativa Marshall (AASHTO T - 245) indica que debe estar entre 2 mm - 4 mm para el tránsito medio, así que se eligió 2.10 mm con el fin de asegurar el buen desempeño de la mezcla asfáltica de tal forma que se pueda prestar un ligante de mejores propiedades adhesivas con una mayor durabilidad.

También se consideró los porcentajes de 4.5% de asfalto alcanzando una estabilidad de 447.71 kg con un flujo de 3.50 mm (dentro del rango de la norma) y 5% de asfalto alcanzando una estabilidad de 537.18kg con un flujo de 2.27(dentro del rango de la norma), a pesar de no haber alcanzado el valor mínimo de estabilidad (544kg) requerida según el normativo Marshall (AASHTO T -245) para ver la mejora correspondiente.

## 5.2. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO EVA

Tabla V-2 RESUMEN DE RESULTADOS PARA POLIMERO EVA CON 4.5%, 5% Y 5.5% DE ASFALTO

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL PARA 4.5% 5.0% Y 5.5%									
% DE ASFALTO	% DE EVA	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
4.50%	2.00%	504.34	11.67	2.97	308.64	64.16	0.98	1060.17	1043.31
4.50%	3.00%	484.26	10.67	2.70	321.56	62.45	1.03	1104.54	1133.25
4.50%	4.00%	488.87	9.33	2.37	396.13	64.19	0.98	1360.72	1336.97
4.50%	5.00%	485.52	9.50	2.40	387.09	61.89	1.03	1329.66	1374.76
4.50%	6.00%	500.95	12.83	3.27	344.31	64.52	0.97	1182.71	1151.85
5.00%	2.00%	500.44	12.00	3.03	322.37	63.78	0.99	1107.35	1099.73
5.00%	3.00%	495.71	12.33	3.13	365.30	63.10	1.01	1254.79	1266.29
5.00%	4.00%	495.38	9.83	2.47	370.00	63.50	1.00	1270.93	1265.60
5.00%	5.00%	484.13	9.83	2.47	399.57	61.90	1.02	1372.51	1407.20
5.00%	6.00%	489.62	9.67	2.43	402.89	64.43	0.98	1383.94	1352.27
5.50%	2.00%	501.73	12.00	3.03	336.40	64.13	0.98	1155.55	1138.04
5.50%	3.00%	495.67	9.33	2.37	314.72	63.33	1.00	1081.07	1087.04
5.50%	4.00%	491.42	9.67	2.43	402.67	63.69	0.99	1383.16	1373.31
5.50%	5.00%	484.72	9.83	2.50	351.32	62.02	1.03	1206.79	1239.54
5.50%	6.00%	487.48	10.00	2.50	426.19	64.20	0.98	1463.95	1437.60

### 5.2.1. DISCUSION:

En el libro de **“Principios de construcción de pavimentos en mezcla asfáltica en caliente. Cap. 3, pág. 57 y Cap. 4, de Asphalt Institute MS-22”**, donde se menciona que la estabilidad, que conforman la buena calidad de la mezcla asfáltica.

**“Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y por lo tanto menos durable que lo deseado.**

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

**Aquellas que tiene valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito”.**

Después de haber puntualizado y entendido la teoría esencial el siguiente paso fue elegir entre un punto ni tan alto ni tan bajo y que se encuentre en el rango de la norma para los valores de la estabilidad y de la misma manera para el flujo esto nos ayudó a elegir el porcentaje óptimo de asfalto.

Una vez realizado el análisis se pudo elegir el % que satisface con las normas de Marshall (AASHTO T-245), utilizando una briquetas de 2,4,6 hrs de uso, corregida se consiguió un valor de 1373.31 kg; teniendo así un aumento con respecto a la estabilidad de Marshall sin modificar que es de 931.98; en la Normativa Marshall (AASHTO T-245) indica que para el transito medio (según el acu) la estabilidad mínima debe ser de 544 kg.

De la misma manera y con el mismo procedimiento fue para el flujo, en la normativa Marshall (AASHTO T - 245) indica que debe estar entre 2 mm - 4 mm para el tránsito medio, así que se eligió 2.43 mm con el fin de asegurar el buen desempeño de la mezcla asfáltica de tal forma que se pueda prestar un ligante de mejores propiedades adhesivas con una mayor durabilidad.

También se consideró los porcentajes de 4.5% de asfalto alcanzando una estabilidad de 1336.97kg, con una estabilidad de 447.71 kg (Marshall sin modificar) y con un flujo de 2.37 mm (dentro del rango de la norma) para 544 kg de estabilidad normativa y 5% de asfalto alcanzando una estabilidad de 1352.27 kg , con una estabilidad de 537.18kg (Marshall sin

modificar) y con un flujo de 2.43 (dentro del rango de la norma), para 544 kg de estabilidad normativo Marshall (AASHTO T -245).

### 5.3. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO SBS

Tabla V-3 RESUMEN DE RESULTADOS PARA POLIMERO SBS CON 4.5%, 5% Y 5.5% DE ASFALTO

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL PARA 4.5% 5.0% Y 5.5%									
% DE ASFALTO	% DE SBS	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
4.50%	2.00%	518.53	11.00	2.80	142.85	65.47	0.95	490.69	465.98
4.50%	3.00%	483.94	9.33	2.33	297.94	61.08	1.02	1023.42	1049.92
4.50%	4.00%	508.74	7.33	1.87	328.88	64.48	0.97	1129.71	1100.20
4.50%	5.00%	509.06	9.33	2.37	381.72	64.48	0.98	1311.21	1277.37
4.50%	6.00%	509.57	13.00	3.33	474.67	64.15	0.98	1630.50	1604.95
5.00%	2.00%	511.14	11.00	2.77	158.11	64.88	0.97	543.11	523.99
5.00%	3.00%	491.39	6.67	1.70	299.24	61.65	1.02	1027.88	1049.53
5.00%	4.00%	509.19	7.33	1.87	337.08	64.58	0.97	1157.87	1126.43
5.00%	5.00%	512.48	10.00	2.53	424.44	64.70	0.97	1457.96	1413.37
5.00%	6.00%	511.22	12.33	3.13	540.86	64.34	0.98	1857.85	1818.44
5.50%	2.00%	522.30	10.67	2.70	177.56	65.33	0.95	609.91	582.04
5.50%	3.00%	494.29	8.00	2.03	314.00	61.90	1.02	1078.58	1095.76
5.50%	4.00%	517.24	7.33	1.83	347.66	64.78	0.97	1194.20	1156.12
5.50%	5.00%	515.82	9.33	2.37	434.45	64.84	0.97	1492.32	1441.21
5.50%	6.00%	518.90	12.33	3.10	608.37	64.69	0.97	2089.74	2026.48

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 7)

#### 5.3.1. DISCUSION:

En el libro de **“Principios de construcción de pavimentos en mezcla asfáltica en caliente. Cap. 3, pág. 57 y Cap. 4, de Asphalt Institute MS-22”**, donde se menciona que la estabilidad es la forma como resiste, ofreciendo una buena calidad a los pavimentos y por ende una durabilidad en la mezcla de asfalto en caliente.

**“Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y por lo tanto menos durable que lo deseado.**

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

**Aquellas que tiene valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito”.**

Después de haber puntualizado y entendido la teoría esencial el siguiente paso fue elegir entre un punto ni tan alto ni tan bajo y que se encuentre en el rango de la norma para los valores de la estabilidad y de la misma manera para el flujo esto nos ayudó a elegir el porcentaje óptimo de asfalto.

Una vez realizado el análisis se pudo elegir el % que satisface con normas establecidas en las normativas ya mencionados, donde los resultados arrojaron 2,4,5, de tiempo de uso, corregida se consiguió un valor de 1441.21 kg teniendo así un aumento con respecto a la estabilidad de Marshall sin modificar que es de 931.98; en la Normativa Marshall

(AASHTO T-245) indica que para el tránsito medio (según el acu) la estabilidad mínima debe ser de 544 kg.

De la misma manera y con el mismo procedimiento fue para el flujo, en la normativa Marshall (AASHTO T - 245) indica que debe estar entre 2 mm - 4 mm para el tránsito medio, así que se eligió 2.37 mm con el fin de asegurar el buen desempeño de la mezcla asfáltica de tal forma que se pueda prestar un ligante de mejores propiedades adhesivas con una mayor durabilidad.

También se consideró los porcentajes de 4.5% de asfalto alcanzando una estabilidad de 1277.37kg, con una estabilidad de 447.71 kg (Marshall sin modificar) y con un flujo de 2.37 mm (dentro del rango de la norma) para 544 kg de estabilidad normativa y 5% de asfalto alcanzando una estabilidad de 1413.37 kg, con una estabilidad de 537.18kg (Marshall sin modificar) y con un flujo de 2.53 (dentro del rango de la norma), para 544 kg de estabilidad normativo Marshall (AASHTO T -245).

#### 5.4. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLIMERO SBR

Tabla V-4 RESUMEN DE RESULTADOS PARA POLIMERO SBR CON 4.5%,5% Y 5.5% DE ASFALTO

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL PARA 4.5% 5.0% Y 5.5%									
% DE ASFALTO	% DE SBR	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
4.50%	2.00%	506.13	7.50	1.90	108.85	65.33	0.95	373.91	357.26
4.50%	3.00%	503.57	9.67	2.43	150.27	64.13	0.98	516.19	507.56
4.50%	4.00%	503.12	11.33	2.87	199.13	64.28	0.98	684.02	670.79
4.50%	5.00%	503.69	12.67	3.23	169.11	64.48	0.98	580.90	567.08
4.50%	6.00%	504.55	13.67	3.47	201.36	64.13	0.98	691.66	680.08
5.00%	2.00%	503.95	9.83	2.50	148.47	64.69	0.96	509.99	490.12
5.00%	3.00%	514.41	9.50	2.40	240.95	64.55	1.07	827.66	883.29
5.00%	4.00%	500.53	9.67	2.47	238.75	64.16	0.96	820.09	791.16
5.00%	5.00%	507.66	11.00	2.80	208.69	64.66	0.97	716.84	693.16
5.00%	6.00%	506.10	14.67	3.73	216.30	64.14	0.97	742.98	719.63
5.50%	2.00%	522.32	10.83	2.77	174.88	65.33	0.96	600.71	577.24
5.50%	3.00%	494.30	10.67	2.70	273.18	61.90	1.07	938.38	999.68
5.50%	4.00%	517.24	10.00	2.53	265.16	64.78	0.96	910.81	878.68
5.50%	5.00%	515.82	11.50	2.90	235.09	64.84	0.97	807.54	780.87
5.50%	6.00%	512.68	14.50	3.67	255.91	64.68	0.97	879.06	851.41

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 8)

##### 5.4.1. DISCUSION:

En el libro de “Principios de construcción de pavimentos en mezcla asfáltica en caliente. Cap. 3, pág. 57 y Cap. 4, de Asphalt Institute MS-22”, donde se menciona que la estabilidad es la forma en que puede resistir y durar en mayor tiempo.

**“Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y por lo tanto menos durable que lo deseado.**

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

Aquellas que tiene valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito”.

Después de haber puntualizado y entendido la teoría esencial el siguiente paso fue elegir entre un punto ni tan alto ni tan bajo y que se encuentre en el rango de la norma para los valores de la estabilidad y de la misma manera para el flujo esto nos ayudó a elegir el porcentaje óptimo de asfalto.

Una vez realizado el análisis se pudo elegir el % que satisface con las normas internacionales ya conocidos, donde se conoció el promedio de briquetas de 2,4,6 hrs., con un (60°C), corregida se consiguió un valor de 878.68 kg; teniendo así una perdida con respecto a la estabilidad de Marshall sin modificar que es de 931.38; en la Normativa Marshall (AASHTO T-245) indica que para el transito medio (según el acu) la estabilidad mínima debe ser de 544 kg.

De la misma manera y con el mismo procedimiento fue para el flujo, en la normativa Marshall (AASHTO T - 245) indica que debe estar entre 2 mm - 4 mm para el tránsito medio, así que se eligió 2.53 mm con el fin de asegurar el buen desempeño de la mezcla asfáltica de tal forma que se pueda prestar un ligante de mejores propiedades adhesivas con una mayor durabilidad.

También se consideró los porcentajes de 4.5% de asfalto alcanzando una estabilidad de 670.79 kg, con una estabilidad de 447.71 kg (Marshall sin modificar) y con un flujo de 2.87 mm (dentro del rango de la norma) para 544 kg de estabilidad normativa y 5% de asfalto alcanzando una estabilidad de 883.29 kg, con una estabilidad de 537.18kg (Marshall sin modificar) y con un flujo de 2.40 (dentro del rango de la norma), para 544 kg de estabilidad normativo Marshall (AASHTO T -245).

## 5.5. RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON CAUCHO

Tabla V-5 RESUMEN DE RESULTADOS PARA CAUCHO CON 4.5%,5% Y 5.5% DE ASFALTO

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL PARA 4.5% 5.0% Y 5.5%									
% DE ASFALTO	% DE CAUCHO	VOLUMENES	LECTURA FLUJO	FLUJO	LECTURA DE ESTABILIDAD	ALTURA ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA
4.50%	2.00%	516.32	10.67	2.67	111.24	65.51	0.95	382.11	363.55
4.50%	3.00%	506.90	7.33	1.87	149.57	64.33	0.98	513.76	502.37
4.50%	4.00%	504.36	10.00	2.53	237.92	64.37	0.98	817.26	798.94
4.50%	5.00%	503.69	12.33	3.13	169.94	64.48	0.98	583.75	569.64
4.50%	6.00%	504.55	13.67	3.50	172.19	64.13	0.98	591.49	581.01
5.00%	2.00%	503.95	10.67	2.70	117.46	64.69	0.97	403.48	391.11
5.00%	3.00%	514.41	7.33	1.83	155.79	64.55	0.97	535.13	520.70
5.00%	4.00%	500.53	10.00	2.53	244.14	64.16	0.98	838.63	823.96
5.00%	5.00%	507.66	12.33	3.13	176.16	64.66	0.97	605.12	587.26
5.00%	6.00%	506.10	13.67	3.47	178.42	64.14	0.98	612.86	603.55
5.50%	2.00%	522.32	10.67	2.70	129.33	65.33	0.95	444.26	424.10
5.50%	3.00%	494.30	8.67	2.17	170.60	61.90	1.04	586.00	610.00
5.50%	4.00%	517.24	12.00	3.07	261.84	64.78	0.97	899.41	873.64
5.50%	5.00%	515.82	12.33	3.13	196.77	64.84	0.97	675.90	653.11
5.50%	6.00%	512.68	13.67	3.47	201.93	64.68	0.97	693.64	671.85

### 5.5.1. DISCUSION:

En el libro de **“Principios de construcción de pavimentos en mezcla asfáltica en caliente. Cap. 3, pág. 57 y Cap. 4, de Asphalt Institute MS-22”**, donde se menciona que la estabilidad, puede conocer su resistencia de deformación, siendo esto el flujo de deformación con las características de una buena calidad de los pavimentos y las mezclas asfálticas.

**“Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y por lo tanto menos durable que lo deseado.**

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

**Aquellas que tiene valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito”.**

Después de haber puntualizado y entendido la teoría esencial el siguiente paso fue elegir entre un punto ni tan alto ni tan bajo y que se encuentre en el rango de la norma para los valores de la estabilidad y de la misma manera para el flujo esto nos ayudó a elegir el porcentaje óptimo de asfalto.

Una vez realizado el análisis se pudo elegir el % que satisface con lo que exige las normativa internacional, donde se conocio el promedio de briquetas de 2,4,6 hrs, que tiene una antiuedad corregida se consiguió un valor de 873.64; ; teniendo así una perdida con respecto a la estabilidad de Marshall sin modificar que es de 931.38 (60°C); en la Normativa Marshall (AASHTO T-245) indica que para el transito medio (según el acu) la estabilidad mínima debe ser de 544 kg.

De la misma manera y con el mismo procedimiento fue para el flujo, en la normativa Marshall (AASHTO T - 245) indica que debe estar entre 2 mm - 4 mm para el tránsito medio, así que se eligió 3.07 mm con el fin de asegurar el buen desempeño de la mezcla asfáltica de tal forma que se pueda prestar un ligante de mejores propiedades adhesivas con una mayor durabilidad.

También se consideró los porcentajes de 4.5% de asfalto alcanzando una estabilidad de 798.94 kg, con una estabilidad de 447.71 kg (Marshall sin modificar) y con un flujo de 2.53 mm (dentro del rango de la norma) para 544 kg de estabilidad normativa y 5% de asfalto alcanzando una estabilidad de 823.96 kg, con una estabilidad de 537.18kg (Marshall sin modificar) y con un flujo de 2.53 (dentro del rango de la norma), para 544 kg de estabilidad normativo Marshall (AASHTO T -245).

## 5.6. RESULTADOS A.P.U. PARA CADA TIPO DE POLIMERO

Tabla V-6 RESUMEN DE COSTOS POR M2 Y M3 PARA SBS EVA SBR Y CAUCHO, Y CONVENCIONAL

RESUMEN DE COSTOS						
PARTIDA	UNIDAD	CONVENCIONAL	SBS	EVA	SBR	CAUCHO
MEZCLA EN CALIENTE	Costo unitario directo por : m2	S/. 47.25	S/. 88.13	S/. 88.83	S/. 93.83	S/. 96.13
CONCRETO ASFALTICO	Costo unitario directo por : m2	S/. 62.66	S/. 122.64	S/. 123.55	S/. 130.05	S/. 133.04
MEZCLA EN CALIENTE 2"(OBRA)	Costo unitario directo por : m3	S/. 580.59	S/. 1,198.35	S/. 1,210.53	S/. 1,295.07	S/. 1,344.91
CONCRETO ASFALTICO 2"(OBRA)	Costo unitario directo por : m3	S/. 776.80	S/. 1,678.69	S/. 1,694.52	S/. 1,804.42	S/. 1,869.21

Fuente: Elaboración Propia de los resultados de los A.P.U.

### 5.6.1. DISCUSIÓN:

Se observa que el precio en mezcla en caliente por m2 se va incrementando en 186.52% 188% 198.58% 203.45% con respecto al precio de una mezcla en caliente convencional, también el concreto asfáltico en m2 se va incrementando en 195.72% ,197.18% ,207.55% ,212.65% con respecto al precio de un concreto asfáltico convencional, teniendo la misma tendencia en mezcla asfáltica en caliente 2" (obra) y concreto asfáltico 2" (obra).

## CONCLUSIONES

1. Según las estimaciones interválicas de las medias poblacionales, del análisis se determinó que la influencia de los polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) como modificación de asfaltos convencionales tiene mejores características en un 65% que las de un asfalto convencional en la carretera Pilcomayo - Chupaca. 2018 y se rechaza la  $H_0$ ; debido a que el valor de  $t_c = \pm 1.04$  se encuadra en la zona de rechazo derecha e izquierda del Coeficiente de Pearson (Curva Simétrica de Gauss), con un cálculo de " $t$ "= 2.4 y de " $t_c$ " =  $\pm 1.04$ , para la toma de decisión, en la unidad de análisis.
2. Según la evaluación efectuada se determinó que las propiedades mecánicas de los asfaltos convencionales modificados con polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) son mejores en un 31% que las de un asfalto convencional sin modificar en la carretera Pilcomayo - Chupaca. 2018 y se rechaza la  $H_0$ ; debido a que el valor de  $t_c = 1.71$ , se encuadra en la zona de rechazo derecha de la Curva Simétrica de Gauss (Coeficiente de Pearson), luego de haber obtenido el valor de: cálculo de  $t = 2.06$  y de  $t_c = 1.71$ , para la regla de decisión.
3. Según el análisis de las estimaciones interválicas de las medias poblacionales, se determinó que el costo beneficio de la colocación de polímeros (EVA, SBR, SBS y Caucho) como modificación de asfaltos convencionales en la carretera Pilcomayo - Chupaca es alto y poco beneficioso en un 23% y se rechaza la  $H_0$ ; debido a que el valor de  $t_c = 1.95$ , se encuadra en la zona de rechazo derecha de la Curva Simétrica de Gauss (Coeficiente de Pearson), con un cálculo de " $t$ " = 5.5 y de " $t_c$ " = 1.95, para la toma de decisión, en la unidad de análisis.
4. Según la evaluación y análisis de los resultados se propone que el polímero (EVA) es el más beneficioso en un 46% en la modificación de asfaltos convencionales para la carretera Pilcomayo - Chupaca, a diferencia de los polímeros SBR, SBS y Caucho y se rechaza la  $H_0$ ; debido a que el valor de  $t_c = 1.71$ , se encuadra en la zona de rechazo derecha de la Curva Simétrica de Gauss (Coeficiente de Pearson), luego de haber obtenido el valor de: cálculo de  $t = 2.9$  y de  $t_c = 1.71$ , para la regla de decisión.
5. El Análisis de Fiabilidad y de Correlación de los resultados obtenidos en la investigación, se determinó su eficiencia con la aplicación de la ficha técnica de recolección de datos , el cual arrojó los siguientes estimados: Sección N° 01. (Trabajo de Campo). Alfa de Cronbach: .663; para la estimación curvilínea de las variables se obtiene una ecuación lineal con una "R" cuadrática de ,018 con 1 grado de libertad con una significancia

de ,146 y una constante de 1.571; estos valores nos indican que el procedimiento y la metodología empleada para el análisis estadístico fue la adecuada, porque dichos valores están en el rango cercano a 1. Para la Correlación de Pearson los valores obtenidos se acercan al valor de 1 (uno), por lo tanto, tiene una alta significancia estadística.

6. Las propiedades mecánicas de una mezcla convencional están por debajo de una mezcla modificada con polímero EVA en un 147.35%(ver tabla y figura VI.1), en una mezcla modificada con polímero SBS un 154.64%(Ver tabla y figura VI.2). En cambio, para el polímero SBR la mezcla convencional está por encima en un 5.72%(Ver tabla y figura VI.3) y en el caucho está por encima en un 6.26%(Ver tabla y figura VI.4).
7. El Costo del asfalto modificado con polímero (mezcla asfáltica por m<sup>2</sup>) EVA es de 188% a comparación de una mezcla convencional y El beneficio que te da es de un 147.34% a comparación de una mezcla convencional. Para un asfalto modificado con polímero (mezcla asfáltica por m<sup>2</sup>) SBS es de 186.52% a comparación de una mezcla convencional y El beneficio que te da es de un 154.64% a comparación de una mezcla convencional. Para un asfalto modificado con polímero (mezcla asfáltica por m<sup>2</sup>) SBR es de 198.58% a comparación de una mezcla convencional y El beneficio que te da es de un -5.72% a comparación de una mezcla convencional. Para un asfalto modificado con CAUCHO (mezcla asfáltica por m<sup>2</sup>) es de 203.45% a comparación de una mezcla convencional y El beneficio que te da es de un -6.26% a comparación de una mezcla convencional.
8. El mejor polímero a utilizar para la carretera Pilcomayo Chupaca va a ser el SBS ya que te da mayor estabilidad con un costo más bajo a diferencia de los demás polímeros.
9. Con el presente trabajo realizado que se describen a lo largo de los capítulos mencionados anteriormente, pudimos experimentar el diseño de Marshall modificado, aplicando diversos % de polímeros a diversas cantidades de asfalto. Analizando estos resultados contrastados con la norma correspondiente para cumplir esta se obtuvo que el 5.5% de asfalto es el óptimo para un tránsito de la Av. Coronel parra crda 6 a crda 14 y que para en el polímero EVA el porcentaje optimo sea 4% en el polímero SBS 5% en el polímero SBR 4% y en el caucho 4% ver (TABLAS VI.1, VI.2 Y VI.3)

Tabla 0-1 RESUMEN DE DATOS ELEGIDOS PARA POLIMERO EVA

% DE ASFALTO	% DE EVA	FLUJO	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD REQUERIDA	ESTABILIDAD MUESTRA CONVENCIONA	%
4.50%	4.00%	2.37	1336.97	544	448	298.43
5.00%	6.00%	2.43	1352.27	544	537	251.82
5.50%	4.00%	2.43	1373.31	544	932	147.35

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 6)

Se deduce que hay incremento de estabilidad en un 147.35% con respecto al diseño convencional y la fluencia dentro del rango de la norma en 2.43 mm. (ver tabla VI.1)

Tabla 0-2 RESUMEN DE DATOS ELEGIDOS PARA POLIMERO SBS

% DE ASFALTO	% DE SBS	FLUJO	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD REQUERIDA	ESTABILIDAD MUESTRA CONVENCIO	%
4.50%	5.00%	2.37	1277.37	544	448	285.13
5.00%	5.00%	2.53	1413.37	544	537	263.20
5.50%	5.00%	2.37	1441.21	544	932	154.64

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 7)

Se deduce que hay incremento de estabilidad en un 154.64% con respecto al diseño convencional y la fluencia dentro del rango de la norma en 2.37 mm. (ver tabla VI.2).

Tabla 0-3 RESUMEN DE DATOS ELEGIDOS PARA POLIMERO SBR

% DE ASFALTO	% DE SBR	FLUJO	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD REQUERIDA	ESTABILIDAD MUESTRA CONVENCIO	%
4.50%	4.00%	2.87	670.79	544	448	149.73
5.00%	3.00%	2.40	883.29	544	537	164.49
5.50%	4.00%	2.53	878.68	544	932	94.28

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 8)

Se deduce que hay disminución de estabilidad en un 5.72% con respecto al diseño convencional y la fluencia dentro del rango de la norma en 2.53 mm. (ver tabla VI.3)

Tabla 0-4 RESUMEN DE DATOS ELEGIDOS PARA CAUCHO

% DE ASFALTO	% DE CAUCHO	FLUJO	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD REQUERIDA	ESTABILIDAD MUESTRA CONVENCIO	%
4.50%	4.00%	2.53	798.94	544	448	178.33
5.00%	4.00%	2.53	823.96	544	537	153.44
5.50%	4.00%	3.07	873.64	544	932	93.74

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 9)

Se deduce que hay disminución de estabilidad en un 6.26% con respecto al diseño convencional y la fluencia dentro del rango de la norma en 3.07 mm. (ver tabla VI.4)

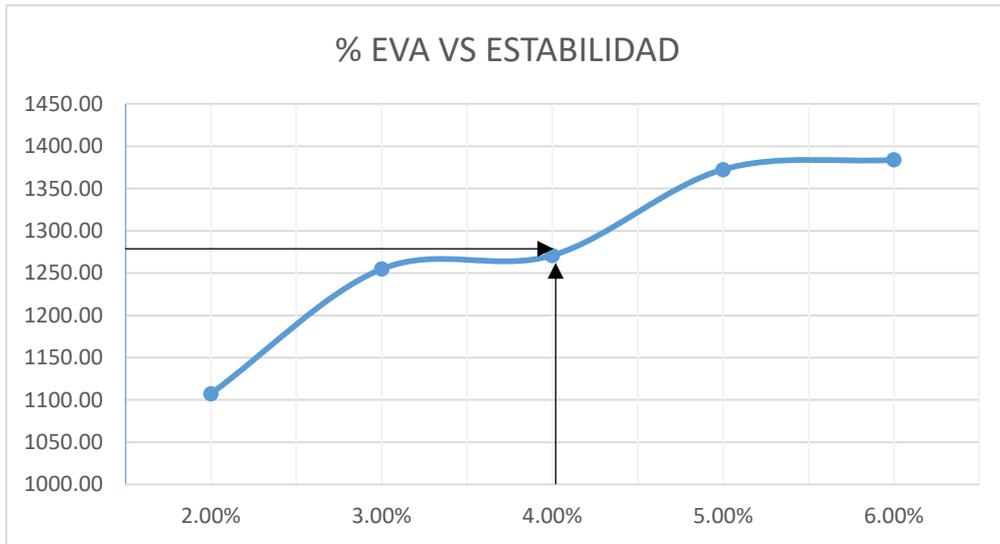


FIGURA 0-1 %EVA VS ESTABILIDAD

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 6)

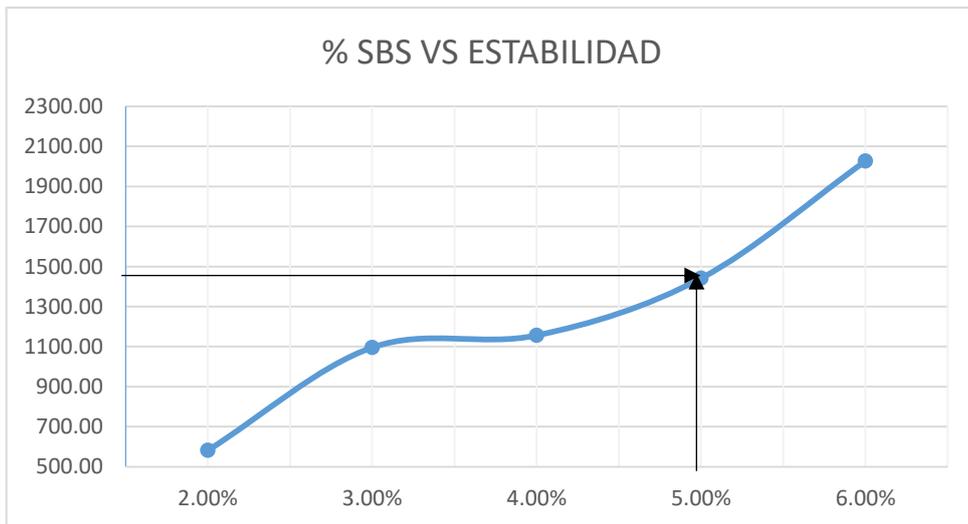


FIGURA 0-2 %SBS VS ESTABILIDAD

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 7)

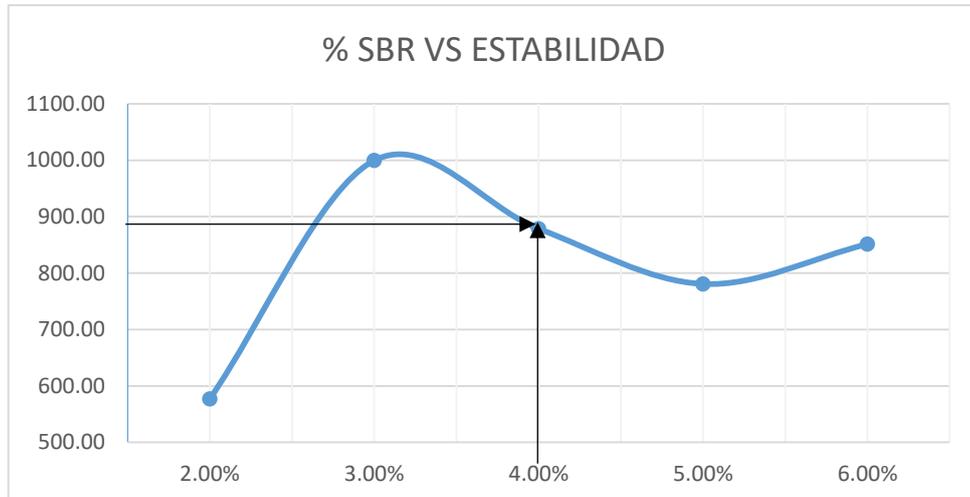


FIGURA 0-3 %SBR VS ESTABILIDAD

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 8)

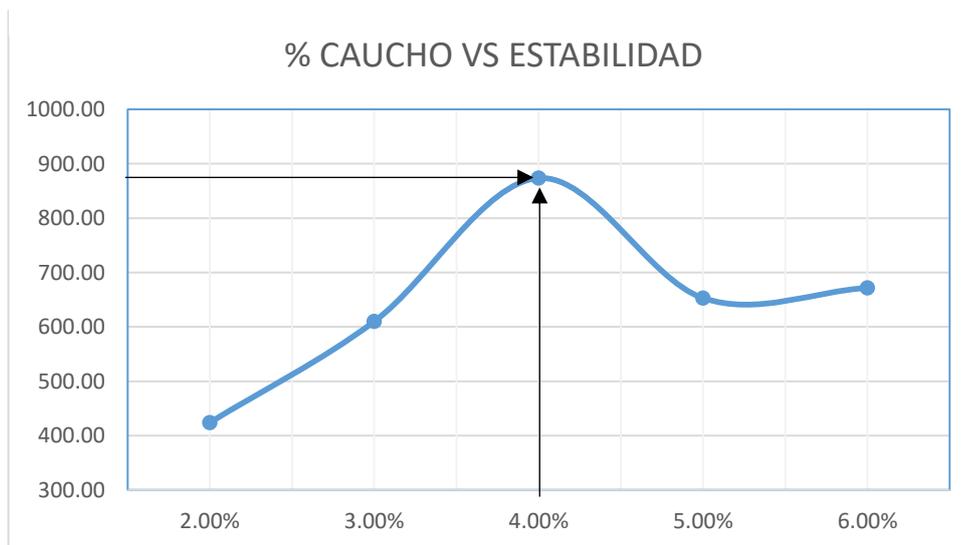


FIGURA 0-4 %CAUCHO VS ESTABILIDAD

Fuente: Elaboración Propia de los resultados del (Anexo 9)

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener cuidado a la hora de elegir el % de asfalto optimo ya que debemos verificar que este dentro de las normas del ASTM 5 así mismo hacerlas cumplir.
2. Se recomienda usar polímero sus en un 5% para la modificación de un asfalto convencional para el tránsito de la carretera Pilcomayo Chupaca.
3. Se recomienda que usar las temperaturas adecuadas para cada polímero ya que si no podrían perderse propiedades mecánicas.
4. Se recomienda que el uso del polímero EVA % debe ser en un 5%, para el tránsito de la carretera Pilcomayo Chupaca tramo (av. coronel parra cdra. 04 – cdra. 13)

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

01. Asphalt Institute. (2012). Principio de construcción de mezclas asfálticas en caliente MS – 22. Estados Unidos: Asphalt Institute. Pág. 267.
02. Avellán, C.M. (2007). Asfaltos Modificados con Polímeros (Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala). Pág. 85.
03. Arbeláez, P.M. (2015). Estudio en tramos de prueba del comportamiento de mezclas en gradación densa, elaboradas en caliente con ligante asfáltico modificado con grano de caucho reciclado de llantas usadas. (Tesis. Universidad Nacional de Colombia. Manizales – Caldas. Colombia). Pág. 82.
04. Agnusdei, J., y Losco, D. (2013). Durabilidad de mezclas asfálticas preparadas con ligante modificados con polímeros. Comisión de Investigaciones Científicas – Lemit. Buenos Aires – Argentina. Pág. 125.
05. Arenas, L. (2009). Características reológicas del asfalto modificado con polímero. Noveno Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Paraguay. Pág. 38.
06. Bocco, Z. (2000). Mezclas asfálticas y aridos triturados con polímeros. Trabajo final. UCC. Pág. 93.
07. Bravo, P. (2003). Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación en laboratorio para asfaltos modificados. Memoria para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso – Chile.
08. Berdiñas, A. (2015). Acción de los polímeros en los cementos asfálticos. Vigésima Octava reunión del Asfalto. Argentina. Pág. 67.
09. Carrizales, A.J. (2015). Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles. (Tesis. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú). Pág. 83.
10. Chiman, A., y Sanabria, L. (2016). Evaluación de las propiedades de asfaltos modificados con polímeros activados. Corporación para la investigación y desarrollo de asfaltos en el sector de transportes e Industrias Corasfaltos - Argentina. Pág. 72.

11. Del Águila, P. (2001). Experiencias en el uso de asfalto modificado con polímero para carpeta asfáltica en la carretera Guaqui – Desaguadero. (Bolivia). 11° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Lima - Perú. 2001. Pág. 182.
12. Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG-2000. (2014). Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima – Perú. Pág. 273.
13. Fajardo, C.L. y Vergaray, H.D. (2014). Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas. (Tesis. Universidad San Martín de Porres. Lima - Perú). Pág. 95.
14. Huamán, N. (2011). La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú. (Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú). Pág. 77.
15. Huamán, N. (2005). Polímeros para pavimentos flexibles. ¿Para qué y cuándo utilizarlo?. Tercer Congreso Nacional del Asfalto. Lima – Perú. Pág. 69.
16. Huamán, N. (2002). Utilización de mezclas asfálticas modificadas con polímeros, experiencia peruana. V Congreso Nacional del Asfalto. Lima – Perú. Pág. 92.
17. Infante, A.C. y Vásquez, A.D. (2016). Estudio comparativo del método convencional y uso de los polímeros Eva y Sbs en la aplicación de mezclas asfálticas. (Tesis. Universidad Señor de Sipán. Pimentel - Perú). Pág. 99.
18. Maila, P.M. (2013). Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA). (Tesis. Universidad Central del Ecuador. Quito - Ecuador). Pág. 129.
19. Marín, H.A. (2004). Asfaltos modificados y prueba de laboratorio para caracterizarlos. (Tesis. Instituto Politécnico Nacional. México). Pág. 59.
20. Manual Internacional de Conservación de Carreteras, Volumen I. Conservación de la Zona de Dominio Público y del Drenaje. (2012). Asociación Mundial de Carreteras – AIPCR. Madrid – España. Pág. 372.

21. Manual Internacional de Conservación de Carreteras, Volumen III. Conservación de Carreteras Pavimentadas. (2005). Asociación Mundial de Carreteras – AIPCR. Madrid – España. Pág. 274.
22. Manual Técnico para el Mantenimiento Periódico de Vías Departamentales No Pavimentadas. (2016). Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima – Perú. Pág. 126.
23. Muner, M., Alvares, Lainez, L. Ossa. (2010). Fabricación y análisis de asfaltos modificados con polímero. Pág. 129.
24. Pereda, R.D. y Cuba, P.N. (2015). Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales. (Tesis. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo - Perú). Pág. 182.
25. Riaño, S.F. (2013). Analizar las ventajas y desventajas en el uso de asfaltos modificados con diversos polímeros como alternativa para la construcción y conservación de carreteras. (Tesis. Universidad José Antonio Páez. San Diego). Pág. 162.
26. Ramírez, J.L. (2011). Pavimentos con polímero reciclados. (Tesis. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Antioquia - Colombia). Pág. 137.
27. Rojas, F., Bonifaz, H., López, S. y Veloz, R. (2011). Análisis comparativo de Mezclas asfálticas modificadas con polímero sbr y sbs, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba. Pág. 172.
28. Sancho, M. (2015). Efectos térmicos en mezclas asfálticas con asfaltos peruanos modificados con polímeros. OCC.- MTC. Décimo Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. España. Pág. 381.
29. Wulf, R.F. (2008). Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero. (Tesis. Universidad Austral de Chile. Valdivia - Chile). Pág. 93. (Al Modelo ISO-690 para Ingenierías. 6ta. Edición. Parafraseado, citado y referenciado)

## **ANEXOS**

Anexo 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Anexo 2: INFORME DE ENSAYO CBR

Anexo 3: INFORME DE ESTUDIO DE TRAFICO

Anexo 4: INFORME DE ENSAYO DE AGREGADOS

Anexo 5: INFORME DE ENSAYO DE DISEÑO MARSHALL CONVENCIONAL

Anexo 6: INFORME DE ENSAYO DE DISEÑO MARSHALL CON EVA

Anexo 7: INFORME DE ENSAYO DE DISEÑO MARSHALL CON SBS

Anexo 8: INFORME DE ENSAYO DE DISEÑO MARSHALL CON SBR

Anexo 9: INFORME DE ENSAYO DE DISEÑO MARSHALL CON CAUCHO

Anexo 10: INFORME DE ENSAYO DE LAVADO ASFALTICO

Anexo 11: PLANO DE UNIDAD DE ANALISIS

Anexo 12: FORMATO DE RECOLECCION DE DATOS

## **Anexo 1: OPERACIONALIZACION DE VARIABLES**

## **Anexo 2: INFORME DE ENSAYO CBR**

## **Anexo 3: INFORME DE ESTUDIO DE TRAFICO**

## **Anexo 4: INFORME DE ENSAYO DE AGREGADOS**

**Anexo 5: INFORME DE ENSAYO DE DISEÑO MARSHALL  
CONVENCIONAL**

**Anexo 6: INFORME DE ENSAYO DE DISEÑO MARSHALL CON  
EVA**

**Anexo 7: INFORME DE ENSAYO DE DISEÑO MARSHALL CON  
SBS**

**Anexo 8: INFORME DE ENSAYO DE DISEÑO MARSHALL CON  
SBR**

**Anexo 9: INFORME DE ENSAYO DE DISEÑO MARSHALL CON  
CAUCHO**

**Anexo 10: INFORME DE ENSAYO DE LAVADO ASFALTICO**

## **Anexo 11: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

## **Anexo 12: PLANO DE UNIDAD DE ANALISIS**

## **Anexo 13: FORMATO DE RECOLECCION DE DATOS**